

UNIVERSIDAD NACIONAL DE PIURA

FACULTAD DE AGRONOMÍA

**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA
AGRÍCOLA**



**“DELIMITACIÓN DE LAS FAJAS MARGINALES DEL RÍO PIURA,
EN EL TRAMO COMPRENDIDO ENTRE LA PRESA LOS EJIDOS Y
PUENTE MIGUEL GRAU; DISTRITOS DE PIURA Y CASTILLA
PROVINCIA DE PIURA, REGIÓN PIURA”.**

TESIS

PARA OPTAR EL TÍTULO DE:

INGENIERO AGRÍCOLA

PRESENTADA POR:

BR. ANGEL VLADIMIR GRANDA LOPEZ

PIURA - PERÚ

2018



UNIVERSIDAD NACIONAL DE PIURA



**Facultad de Agronomía
Escuela Profesional de Ingeniería
Agrícola**



“DELIMITACIÓN DE LAS FAJAS MARGINALES DEL RÍO PIURA, EN EL TRAMO COMPRENDIDO ENTRE LA PRESA LOS EJIDOS Y PUENTE MIGUEL GRAU; DISTRITOS DE PIURA Y CASTILLA PROVINCIA DE PIURA, REGIÓN PIURA”.

TESIS

Presentada a la Facultad de Agronomía para optar el título de:

INGENIERO AGRÍCOLA

ING. RAMÍREZ CHACÓN, WALTER MARIO
Asesor.

ING. SALAZAR CHAVESTA, LORENZO APOLINARIO
Co-Asesor

BR. GRANDA LOPEZ, ANGEL VLADIMIR
Tesista.

Piura - Perú
2018

DECLARACIÓN JURADA DE AUTENTICIDAD DE TESIS

Yo, Br. **ANGEL VLADIMIR GRANDA LOPEZ**, identificado con DNI N°71130513, Bachiller de la escuela profesional de ingeniería agrícola y domiciliado en el A.H. Nueva Esperanza Mz.H7 Lt. 19 Distrito Veintiséis de octubre, Provincia de Piura, Departamento de Piura.

Celular: 998775740

Correo: vladimir_granda@hotmail.com

DECLARO BAJO JURAMENTO: que la tesis que presento es auténtica e inédita, no siendo copia parcial ni total de una tesis desarrollada y/o realizada en el Perú o en el extranjero, en caso contrario de resultar falsa la información que proporciono, me sujeto a los alcances de lo establecido en el Art. N 411, del código penal concordante con el Art.32 de la Ley N° 27444, y ley del Procedimiento Administrativo General y las Normas Legales de Protección de los Derechos del Autor.

En fe de lo cual firmo la presente.

Piura, enero del 2019



Br. Angel Vladimir Granda Lopez.
DNI N° 71130513



UNIVERSIDAD NACIONAL DE PIURA



Facultad de Agronomía

Escuela Profesional de Ingeniería Agrícola



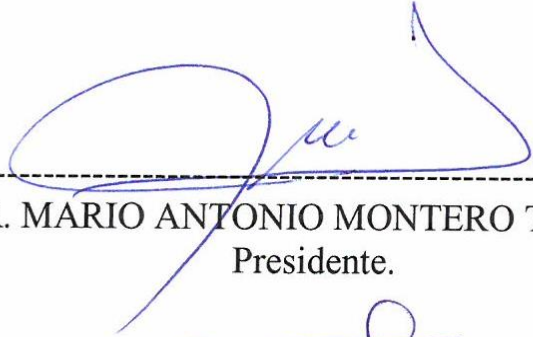
“DELIMITACIÓN DE LAS FAJAS MARGINALES DEL RÍO PIURA, EN EL TRAMO COMPRENDIDO ENTRE LA PRESA LOS EJIDOS Y PUENTE MIGUEL GRAU; DISTRITOS DE PIURA Y CASTILLA PROVINCIA DE PIURA, REGIÓN PIURA”

TESIS

Para optar el título de ingeniero agrícola

BR. ANGEL VLADIMIR GRANDA LOPEZ.


Aprobada por:



DR. MARIO ANTONIO MONTERO TORRES.
Presidente.



ING. VICTOR HUGO TIMANA PAZ.
Vocal.



ING. MIGUEL ANGEL GALECIO JULCA.
Secretario.

Piura - Perú
2018



UNIVERSIDAD NACIONAL DE PIURA
UNIDAD DE INVESTIGACION
FACULTAD DE AGRONOMÍA

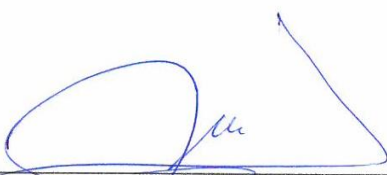


**ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS
084-2018-UIFA-UNP**


Los miembros del jurado calificador que suscriben, congregados para estudiar el Trabajo de Tesis denominado "DELIMITACIÓN DE LAS FAJAS MARGINALES DEL RIO PIURA, EN EL TRAMO COMPRENDIDO ENTRE LA PRESA LOS EJIDOS Y PUENTE MIGUEL GRAU; DISTRITO DE PIURA Y CASTILLA, PROVINCIA DE PIURA, REGION PIURA", conducido por el BR. ANGEL VLAMIR GRANDA LOPEZ asesorado por el Ing. Walter Ramírez Chacón.

Luego de oídas las observaciones y respuestas a las preguntas formuladas, lo declaran APROBADO, en consecuencia queda en condiciones de ser calificado APTO para gestionar ante el Consejo Universitario de la Universidad Nacional de Piura, el Título Profesional de Ingeniero Agrícola de conformidad con lo estipulado en el artículo N° 171, inciso 2° del Estatuto General de la Universidad Nacional de Piura.

Piura, 07 de Noviembre del 2018.



Dr. Mario A. Montero Torres
Presidente



Ing. Víctor H. Timaná Paz
Vocal



Ing. Miguel A. Galecio Julca M.Sc.
Secretario

DEDICATORIA.

A mis padres y hermanos por su esfuerzo y apoyo incondicional, lo cual constituye un pilar fundamental para alcanzar mis objetivos.

AGRADECIMIENTO.

A la Universidad Nacional de Piura, Escuela profesional de Ingeniería Agrícola donde tuve la oportunidad de continuar con mi formación profesional; a mis asesores Ing. Walter M. Ramírez Chacón, Ing. Lorenzo A. Salazar Chavesta por su apoyo durante el proceso de investigación; al Consejo de Recursos Hídricos de la cuenca Chira Piura; al Proyecto Especial Chira Piura y Gobierno Regional de Piura, por facilitar el proceso de investigación, accediendo a mis solicitudes presentadas.

ÍNDICE GENERAL

CAPÍTULO 1: ASPECTOS DE LA PROBLEMÁTICA.	1
1.1. DESCRIPCIÓN DE LA REALIDAD PROBLEMÁTICA.	1
1.2. JUSTIFICACIÓN.	2
1.3. OBJETIVOS.	2
1.3.1. Objetivo general.	2
1.3.2. Objetivos específicos.	2
CAPÍTULO 2: MARCO TEÓRICO.	3
2.1. ANTECEDENTES.	3
2.2. BASE TEÓRICA.	5
2.2.1. Cuenca.	5
2.2.2. Cauces o álveos.	9
2.2.3. Régimen hidrológico.	10
2.2.4. Caudal de un río.	11
2.2.5. Hidrometría.	12
2.2.6. Hidrología estadística.	13
2.2.7. Sistema de información geográfica SIG.	14
2.2.8. Modelamiento hidráulico.	15
2.3. GLOSARIO DE TÉRMINOS.	16
2.4. MARCO REFERENCIAL	17
2.4.1. Ley de Recursos Hídricos ley N ^a 29338.	17
2.4.2. Reglamento de la ley de recursos hídricos ley N ^o 29338.	18

2.4.3. Reglamento para la delimitación y mantenimiento de fajas marginales en cursos fluviales y cuerpos naturales y artificiales. R.J. N°332 –2016 –ANA.	19
2.5. HIPÓTESIS DE LA INVESTIGACIÓN.	20
2.5.1. General.	20
2.5.2. Especifica.....	20
2.5.3. Variables de estudio.....	20
CAPÍTULO 3: MARCO METODOLOGICO.	22
3.1. MATERIALES.....	22
3.1.1. Zona de estudio.....	22
3.1.2. Equipos y accesorios:	29
3.1.3. Software:.....	29
3.2. METODOLOGÍA.....	29
3.2.1. Fase preliminar.	29
3.2.2. Fase de Campo.	30
3.2.3. Fase de análisis y procesamiento.....	30
CAPÍTULO 4: RESULTADOS	47
4.1. CÁLCULOS HIDROMÉTRICOS.	47
4.1.1. Distribución Gumbel.	47
4.1.3. Distribución Gamma de 03 parámetros o Pearson tipo III.	49
4.1.4. Pruebas de bondad y ajuste.....	52
4.1.5. Caudales estimados con el software Hyfran.....	54
4.2. MODELAMIENTO HIDRÁULICO.....	56

4.2.1. Identificación de puntos críticos.....	57
4.3. DELIMITACION DE FAJAS MARGINALES.....	58
CONCLUSIONES.....	60
RECOMENDACIONES.	62
REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS.	63
ANEXOS.	66

INDICE DE TABLAS.

Cuadro N° 1: Clasificación de las cuencas según su tamaño.	7
Cuadro N° 2: Clasificación del terreno según el valor de la pendiente.	9
Cuadro N° 3: Eventos de Fenómeno El Niño de intensidades fuertes y bastantes fuertes..	26
Cuadro N° 4: Descargas Máximas Instantáneas Mensuales en m ³ /seg. (Estación Puente Sánchez Cerro periodo 1975 – 2017).	32
Cuadro N° 5: Estimaciones del valor del caudal máximo a emplear.	34
Cuadro N° 6: Valores de μy , σy según el número de datos que presenta la muestra.	37
Cuadro N° 7: Estimación de parámetros.	47
Cuadro N° 8: Valores de caudales para diferentes Periodos de Retorno.	49
Cuadro N° 9: Estimación de los principales parámetros.	50
Cuadro N° 10: Valores de caudales para diferentes Periodos de Retorno.	52
Cuadro N° 11: Descripción de los principales puntos críticos.	57
Cuadro N° 12: Ubicación de Hitos propuestos y el ancho de la faja marginal.	58
Cuadro N° 13: Ubicación de Hitos propuestos y el ancho de la faja marginal.	59

INDICE DE GRAFICOS:

Gráfico N° 1: Descargas Máximas Instantáneas Anuales (m ³ /Segundo).	33
Gráfico N° 2: Caudales extremos a ser descartados.	35
Gráfico N° 3: Distribución de Gumbel; Caudal vs. Periodo de Retorno.	49
Gráfico N° 4: Distribución Pearson Tipo III; Caudal vs. Periodo de Retorno.	52

INDICE DE FIGURAS:

Figura N° 1: Zona de estudio.....	23
Figura N° 2: Precipitación máxima anual en Estación Miraflores (1971-2008).	25
Figura N° 3: Vista Panorámica del rio Piura (Aguas abajo del puente Sánchez Cerro). ...	40
Figura N° 4: Modelo digital de elevación formato TIN y Raster.	41
Figura N° 5: Mapa de uso de suelos.	43
Figura N° 6: Modelamiento Hidráulico 2D con Iber.....	44
Figura N° 7: Gráfico de ajuste de la Distribución Gumbel.	53
Figura N° 8: Ajuste de la Distribución Pearson tipo III.	53
Figura N° 9: Visualización de resultados.	54
Figura N° 10: Grafica de la distribución Gumbel	54
Figura N° 11: Visualización de resultados.	55
Figura N° 12: : Grafica de la distribución Pearson Tipo III.	55
Figura N° 13: Visualización del modelamiento hidráulico obtenidos con el software Iber.	56

INDICE DE ANEXOS.

Anexo N° 1: Valores del coeficiente de Foster – Rinkin.	67
Anexo N° 2: Coeficientes de rugosidad "n " de Manning típicos.	68
Anexo N° 3: Ancho mínimo de fajas marginales.	69
Anexo N° 4: Fotografías del cauce en estudio.	70
Anexo N° 5: Visualización de resultados del modelamiento hidráulico.	72
Anexo N° 6: Visualización de Fajas Marginales Delimitadas.	73

RESUMEN.

El presente trabajo de investigación, cuyo principal objetivo es determinar los límites de las fajas marginales del río Piura en un tramo de 9,5 kilómetros, se basa en el modelamiento hidráulico de dicho tramo. La investigación esta basa principalmente en la obtención, análisis y procesamiento de información hidrométrica y data topográfica; la misma que posteriormente es empleada en el modelamiento hidráulico, el cual conjuntamente con algunos criterios técnicos y normativos tomados en cuenta, permitirán delimitar las fajas marginales.

La estimación de caudales se realizó con los métodos estadísticos Gumbel y Pearson tipo III. de forma manual y mediante software; estimándose un caudal para un período de retorno de 100 años equivalente a 2663,423 y 2435,599 m³ / seg. respectivamente; luego de realizado el ajuste estadístico, se optó por trabajar con la distribución Pearson tipo III.

En cuanto a la topografía; se trabajó con curvas de nivel de 0,50 metros de equidistancia a partir de la cual se generó el MDT, respecto a la rugosidad se trabajó un mapa de uso de suelos con diferentes valores según las condiciones presentes en el cauce (0.018, 0.025, 0.15 a 0.18).

Luego de realizado el modelamiento hidráulico con el software Iber, se logró determinar diferentes puntos críticos tales como: Urbanización Cocos del Chipe margen derecha, puente Cáceres ambas márgenes, puente San Miguel margen izquierda, ello debido a la invasión de las fajas marginales y al estrangulamiento del cauce.

La determinación de los límites de las fajas marginales, se realizó a partir de los resultados obtenidos en el modelamiento hidráulico, partiendo del nivel superior alcanzado por el agua; el ancho de la faja marginal se determinó en función al criterio de ancho variable en el que se consideran, características geológicas, vegetación, presencia de defensas ribereñas, en los márgenes del río cuyo ancho varía de 10 a 50 metros.

Palabras claves: Delimitación, Faja Marginal, Modelamiento Hidráulico.

ABSTRACT.

This research work, whose main objective is to determine the limits of the marginal strips of the Piura River in a stretch of 9.5 kilometers, based on a hydraulic modeling of this section. The research is mainly based on obtaining, analyzing and processing hydrometric information and topographic data; the same that later is used in the hydraulic modeling, which together with some technical and normative criteria taken into account, will allow to delimit the marginal strips.

Flow estimation was performed with the Gumbel and Pearson type III statistical methods. manually and through software; a flow is estimated for a return period of 100 years equivalent to 2663,423 and 2435,599 m³ / sec. respectively; After the adjustment was made, we chose to work with the Pearson type III distribution.

As for the topography; We worked with level curves with 0.50 meters of equidistance from which the MDT was generated, with respect to the roughness we worked a map of land use with different values according to the conditions present in channel (0.018, 0.025, 0.15 a 0.18).

After hydraulic modeling with the Iber software, it was possible to determine different critical points such as: Cocos del Chipe urbanization, right bank, Caceres bridge, both sides of the San Miguel Bridge, left margin, due to the invasion of the marginal strips and the strangulation of the channel.

The determination of the limits of the marginal strips, was made from the results obtained in the hydraulic modeling, starting from the upper level reached by the water; The width of the marginal strip was determined based on the variable width criterion in which are considered, geological characteristics, vegetation, presence of riparian defenses, in the margins of the river whose width varies from 10 to 50 meters.

Keywords: Delimitation, Marginal Strip, Hydraulic Modeling.

INTRODUCCIÓN.

La ocupación y uso de los recursos naturales en zonas consideradas de alto riesgo, es un problema que está presente en diversas partes de nuestro territorio, lo cual hasta la actualidad ha traído consigo un gran número de víctimas, cuantiosas pérdidas económicas, y significativos daños al ambiente; a consecuencia del desbordamiento e inundación de ríos y quebradas durante los periodos de crecidas o máximas avenidas, época en la cual los cauces transportan volúmenes máximos de agua y material sedimentario; en el caso del río Piura ello ocurre en los meses comprendidos entre diciembre y abril, periodo en los cuales se han registrado caudales que superan los 3460 m³/s. (COER – PIURA 2017) particularmente en los años donde hubo presencia del Fenómeno el Niño: así mismo es preciso señalar que la generación de material sedimentario es un problema nada ajeno a la actividad antrópica desarrollada en las partes altas de la cuenca. Por lo que hoy en día, los términos de protección y conservación de los cauces, y las áreas aledañas a estos, consideradas como intangibles, así como la orientación de un desarrollo armónico entre la población y naturaleza ha adquirido gran importancia, y han sido materia de diversas discusiones.

Como interesados de la problemática antes indicada se optó por desarrollar este proyecto de investigación, el cual consiste en la determinación de los límites de las Fajas Marginales del Río Piura, en el tramo 9.5 Kilómetros, comprendido entre la Presa Los Ejidos y el Puente Miguel Grau. Para ello se hizo uso de diferentes métodos y herramientas de trabajo encontradas a nuestro alcance, destacando entre esta, información hidrométrica, data topográfica, la cual fue facilitada por diferentes instituciones; así como el uso de software tales como ArcGIS, Iber entre otros; lo cual permitió procesar información e identificar las zonas ribereñas con mayores riesgos de erosión, e inundación, seguido a ello se presentan algunas conclusiones y recomendaciones, cuya finalidad es reducir o mitigar posibles daños en un futuro.

El Informe Final comprende el desarrollo de las actividades antes descritas, la presentación de las fajas marginales delimitadas el cual a se señalan las principales zonas críticas que ameritan ser intervenidas.

CAPÍTULO 1: ASPECTOS DE LA PROBLEMÁTICA.

1.1.DESCRIPCIÓN DE LA REALIDAD PROBLEMÁTICA.

Como se mencionó al inicio del proyecto, la principal problemática encontrada en la zona objeto de estudio surge a raíz de la ocupación irresponsable de las riberas de inundación del río Piura, lo cual genera grandes reducciones de la sección hidráulica del río, por consiguiente una notable disminución en la capacidad de transporte del mismo, sumado a ello la presencia de material sedimentario, especies vegetales y basura dentro del cauce de dicho río, empeora aún más esta situación; tal como se pudo apreciar durante el último Fenómeno del Niño ocurrido en marzo del 2017 donde la máxima avenida de 3468 m³/s (COER – Piura 2017), dio lugar al desbordé del río en la zona urbana de Piura y Castilla.

Los eventos extraordinarios (Fenómeno del Niño) presentados en los años de 1982-1983, 1997-1998 y 2017, generaron crecidas significativas en el caudal del río Piura; (según datos hidrométricos facilitados por el Proyecto Especial Chira Piura), los caudales extraordinarios transportados en los años antes descritos corresponden a 3200, 4424 y 3468 m³/s respectivamente, producto de estas grandes descargas, las mismas que en diferente tramos supero la capacidad de transporte del cauce, trajeron consigo el colapso de estructuras e inundación de una gran parte de las ciudades de Piura y Catilla, lo cual genero pérdidas de vidas humanas y cuantiosos daños materiales, muchos de estos hasta la fecha no han podido ser rehabilitados completamente.

La población con el pasar de los años a partir de las fechas antes indicadas han tenido que soportar considerables daños económicos causados por los eventos antes descritos, de forma particular el fenómeno denominado el Niño Costero ocurrido en marzo del 2017, cabe señalar que dichas avenidas se generan durante las temporadas de mayores precipitaciones pluviales (periodo comprendido entre meses de diciembre a marzo); la presencia de estas grandes descargas es un problema actual, dado que la población aún sigue expuesta al riesgo de ser inundada.

¿Es posible determinar los límites que demarcan la ribera y fajas marginales del río Piura en el tramo comprendido entre la Presa Los Ejidos y Puente Miguel Grau?

1.2.JUSTIFICACIÓN.

De acuerdo con las investigaciones realizadas y a la información recopilada de diferentes fuentes e instituciones, la zona objeto de estudio, hasta la fecha no se encuentra con las fajas marginales debidamente delimitadas; lo cual dificulta de cierta forma el desarrollo de actividades preventivas ante posibles efectos negativo que puedan generarse en épocas de máximas avenidas, como los daños ocurridos años atrás (1982-1983, 1997-1998 y 2017), inundaciones, erosión de suelos entre otros. Es por ello que contar con las fajas marginales, debidamente delimitadas es de mucha importancia, ya que ello facilitara de algún modo la ejecución de actividades preventivas.

El propósito del presente trabajo de investigación es determinar el límite de las fajas marginales del río Piura en el tramo comprendido entre la Presa Los Ejidos y Puente Miguel Grau, haciendo uso de diferentes herramientas de trabajo, destacando entre ellas softwares numéricos aplicados en la hidráulica fluvial, etc. de tal forma que sea posible identificar los puntos críticos y de esta manera predecir cuáles serán las zonas propensas a sufrir daños por inundaciones, ante la presencia de máximas avenidas producto de la ocurrencia de fenómenos climatológicos en la cuenca.

1.3.OBJETIVOS.

1.3.1. Objetivo general.

- ❖ Determinar los límites de las fajas marginales e identificar los principales puntos críticos presentes en el tramo objeto de estudio; en base a información hidrométrica y topográfica, apoyándonos de herramientas, y software aplicados a la hidrología e hidráulica fluvial.

1.3.2. Objetivos específicos.

- ❖ Determinar la topografía del cauce del río y de las zonas adyacentes.
- ❖ Evaluar las principales características geomorfológicas e hidráulicas del río Piura, en el tramo objeto de estudio.
- ❖ Definir el ancho mínimo de las franjas marginales en régimen permanente y para diferentes periodos de retorno, en el tramo Presa Los Ejidos y Puente Miguel Grau.

CAPÍTULO 2: MARCO TEÓRICO.

2.1. ANTECEDENTES.

Autoridad Autónoma Cuenca Hidrográfica Chira - Piura. (2007), Las inundaciones y los daños asociados a ellas tienen un impacto determinante en el desarrollo de la Región Piura, más aún por la corta periodicidad de ocurrencia y el nivel de inversiones que se realizan año a año para controlarlas.

Las defensas en la zona urbana poseen especial importancia dado que se trata de una zona donde las posibles inundaciones provocan no sólo daños económicos muy altos, sino que además ponen en peligro las vidas de la población, por lo que teniendo en cuenta la importancia de las tablestacas como elementos que protegen y aseguran la estabilidad del terreno, estas deben reconstruirse, así como también el de revestimiento de los taludes.

La zona aledaña al Puente Cáceres es muy vulnerable a ser inundada, pues en dependencia de la erosión del cauce, caudales del orden de 3000 m³/s podrían sumergir el tablero del puente e inundar la ciudad. Por dicha razón es necesario incrementar la capacidad hidráulica en dicha sección; ya que, el máximo nivel de agua registrado en el Puente Cáceres en 1998 corresponde a la cota 30.50 m.s.n.m., que es exactamente la cota inferior del tablero de dicho puente.

Jaimes (2014) precisó que en algunas localidades los pobladores utilizan estos espacios para construir sus viviendas sin percatarse del peligro que corren ante las crecidas de los ríos. "Colegios, viviendas, carreteras, entre otras construcciones se encuentran en estas zonas, que deberían ser intangibles, porque si el cauce del río se incrementa lo primera que arrasaría serían estas áreas", advirtió.

También recomienda que antes de realizar un proyecto, primero se debe desarrollar una delimitación de la faja ribereña y evitar desastres. "La faja marginal es importante para el ordenamiento territorial, por ello es importante un estudio previo y prevenir consecuencias".

Según Carrera (2011) Los ríos no funcionan solos y no entienden de fronteras territoriales; más allá de transportar agua, son corredores biológicos y espacios naturales para la educación, zonas lúdicas y fuentes de fertilidad agrícola.

En la mayoría de los casos la ocupación urbana de las planicies ribereñas y el estrechamiento de los cauces ha reducido el espacio ribereño a su mínima expresión ocasionando desbordes, lo que implica necesariamente la delimitación de sus Faja Marginales, cuyo objetivo principal es que la población esté segura y recuperar el ecosistema del río.

Toda vez que una estructura comprometa el cauce, se hace necesario recurrir al estudio en modelo hidráulico. Se debe evitar las intervenciones en el cauce, y en el caso de intervenciones previas que hayan producido cambios relevantes, esto deberá ser evaluado muy atentamente, pues su no consideración podría dar lugar a fallas estructurales que, a su vez, ocasionarían pérdidas humanas y/o económicas que lamentar.

Palomino (2004). La zonificación de áreas inundables en nuestro país ha sido siempre una preocupación para las entidades encargadas de la prevención de desastres. Una forma de automatizar la determinación de áreas afectada es mediante el uso de herramientas de cómputo que nos ayuden al cálculo de los parámetros necesarios para determinar el grado de amenaza para diferentes periodos de retorno de las avenidas extraordinarias; obteniendo con ello mapas de amenaza de inundación, en donde se podrá determinarse el área inundada, el volumen de agua que cubra la planicie de inundación y los límites de la misma.

González y Peñaloza (2015) señalan: Dada la importancia del papel que juegan los cauces y sus riberas, es primordial salvaguardar estas áreas para evitar alteraciones que puedan afectar tanto su funcionalidad natural como poner en peligro la integridad de usuarios o beneficiarios de los recursos que brindan. Para ello, es necesario realizar investigación científica que lleve al desarrollo de una metodología con la que sea posible delimitar las riberas de forma integral y eficiente, tomando en cuenta los aspectos requeridos: hidrológicos, hidráulicos, geomorfológicos, ecológicos, uso del agua y de suelos contiguos a las riberas, etcétera.

2.2. BASE TEÓRICA.

2.2.1. Cuenca.

Botero. (1982). La cuenca hidrográfica es una unidad espacial definida por un complejo sistema de interacciones físicas, bióticas, sociales y económicas. La interdependencia de los elementos que constituyen la cuenca es evidente en muchos casos: la deforestación en el área receptora facilita la acción impermeabilizante y el mayor escurrimiento superficial reduce el tiempo de concentración y aumenta los caudales.

La degradación de la cubierta vegetal reduce la infiltración y, por lo tanto, la capacidad reguladora del escurrimiento freático que alimenta los manantiales y los cursos de agua, provocando estiajes más acentuados. La acción erosiva de la escorrentía contribuye al incremento del transporte de sólidos, y al comportamiento torrencial de las cuencas de montaña, ocasionando la destrucción de las obras de infraestructura, poniendo en peligro los asentamientos humanos.

Según la Autoridad Nacional del Agua ANA (s.f.): Área delimitada por el límite topográfico bien definido (parte aguas). Es una zona geográfica donde las condiciones hidrológicas son tales que el agua se concentra en un punto en particular a partir del cual la cuenca se drena.

Las cuencas son además los espacios geográficos donde los grupos y comunidades comparten identidades, tradiciones y cultura, y donde socializan y trabajan en función de la disponibilidad de los recursos renovables y no renovables. En las cuencas, la naturaleza obliga a reconocer necesidades, problemas, situaciones y riesgos hídricos comunes, por lo que debería ser más fácil coincidir en el establecimiento de prioridades, objetivos y metas también comunes y la práctica de principios básicos.

2.2.1.1. Funciones de la Cuenca.

Según Gámez (2009) la cuenca cumple las siguientes funciones:

A. Función Hidrológica.

- Captación de agua de las diferentes fuentes de precipitación para formar el escurrimiento de manantiales, ríos y arroyos.
- Almacenamiento del agua en sus diferentes formas y tiempos de duración.
- Descarga del agua como escurrimiento.

B. Función Ecológica.

- Provee diversidad de sitios y rutas a lo largo de la cual se llevan a cabo interacciones entre las características de calidad física y química del agua.
- Provee de hábitat para la flora y fauna que constituyen los elementos biológicos del ecosistema y tienen interacciones entre las características físicas y biológicas del agua.

C. Función Ambiental.

- Constituyen sumideros de CO₂.
- Alberga bancos de germoplasma.
- Regula la recarga hídrica y los ciclos biogeoquímicos.
- Conserva la biodiversidad.
- Mantiene la integridad y la diversidad de los suelos.

D. Función Socioeconómica.

- Suministra recursos naturales para el desarrollo de actividades productivas que sirven de sustento a la población.
- Provee de un espacio para el desarrollo social y cultural de la sociedad.

2.2.1.2. Morfología de la cuenca.

La morfología de una cuenca queda definida por tres tipos de parámetros:

A. Parámetros de forma.

A.1. Tamaño de la cuenca.

Roncal (s.f.) el tamaño de la cuenca se refiere al área proyectada en un plano horizontal. Se obtiene después de delimitar la cuenca. Se puede determinar haciendo uso del planímetro, a través de cuadrículas en el plano y haciendo uso de un software CAD (Diseño Asistido por Computadora) ó SIG (Sistemas de

Información Geográfica), etc. Se reporta en Kilómetros cuadrados, excepto en cuencas pequeñas que se expresa en hectáreas.

El tamaño de la cuenca es una característica que influye en el escurrimiento superficial, ya que al incrementarse el tamaño se aumenta el volumen escurrido y los escurrimientos máximos.

Cuadro N° 1: Clasificación de las cuencas según su tamaño.

Carácter	Área (km ²)
Pequeñas	< de 50
Medianas	de 50 a 150
Grandes	> de 150

Fuente: Texto básico de hidrología, Ing. William R. Gámez.

A.2. Forma de la cuenca.

Esta característica tiene fundamental importancia en la cantidad de escorrentía para una misma área y una misma intensidad de lluvia, dado que una cuenca pequeña y redondeada, tenderá a concentrar con mayor rapidez sus escurrimientos, en comparación con una cuenca de una alargada que tardará más tiempo en llevarlos a su punto de salida.

El caudal de salida depende directamente de la forma de la hoya, la cual puede expresarse por un factor “K” adimensional, llamado índice de compacidad o coeficiente de Gravelius.

A.3. Índice de Compacidad o Índice de Gravelius.

Roncal (s.f.): el índice de compacidad expresa la relación entre el perímetro de la cuenca y el perímetro equivalente de una circunferencia, que tiene la misma área de la cuenca, es decir:

$$K = \frac{0.28 * P}{\sqrt{A}}$$

Donde:

- K: coeficiente de compacidad o de Gravelius, adimensional.
- P: perímetro de la cuenca, en kilómetros.

- A: área de la cuenca, en kilómetros cuadrados.

Este coeficiente será mayor o igual a 1, de manera que entre más próximo a la unidad, la forma de la cuenca se aproximará más a la de un círculo. Es decir, si el índice de compacidad presenta valores mayores que la unidad, la cuenca será alargada y tendrá forma circular a medida que el índice de compacidad se aproxime a la unidad.

B. Parámetros de relieve.

B.1. Elevación media de la cuenca.

Ibáñez, Moreno, y Gisbert, (s.f.), La variación altitudinal de una cuenca hidrográfica incide directamente sobre su distribución térmica y por lo tanto en la existencia de microclimas y hábitats muy característicos de acuerdo a las condiciones locales reinantes.

Constituye un criterio de la variación territorial del escurrimiento resultante de una región, el cual, da una base para caracterizar zonas climatológicas y ecológicas de ella. Este valor puede ser calculado usando la curva hipsométrica o el histograma de frecuencias altimétricas. La estimación por una media aritmética ponderada en el caso del histograma, o de la curva hipsométrica calculando el área bajo la curva y dividiéndola por el área total.

B.2. Pendiente media de la cuenca.

Según Gámez (2009), La pendiente de una cuenca constituye una característica importante, puesto que condiciona la velocidad del escurrimiento superficial y subterráneo y en un momento dado, predice la erosión que éste produce en función del uso y manejo que se puede dar al suelo de sus vertientes.

Existen diferentes métodos para determinar la pendiente media de la cuenca, entre los que se mencionan los criterios de Nash, Alvord y Horton.

Cuadro N° 2: Clasificación del terreno según el valor de la pendiente.

Pendiente media, %	Tipo de terreno
(0-2]	Plano
(2-5]	Suave
(5-10]	Accidentado medio
(10-15]	Accidentado
(15-25]	Fuertemente accidentado
(25-50]	Escarpado
>50	Muy escarpado

Fuente: Texto básico de hidrología, Ing. William R. Gámez Morales.

C. Parámetros relativos a la red de drenaje.

C.1. Red de drenaje.

Gámez (2009), La red de drenaje es una característica importante de cualquier cuenca y que interviene enormemente en la magnitud de los escurrimientos es la red de drenaje o sistema de drenaje, consistente en el número y trayectoria de los escurrimientos y su importancia radica en la eficiencia del drenaje de la cuenca, además la forma de drenaje es un indicador de las condiciones del suelo y de la superficie de la cuenca.

La red de drenaje se puede definir como la trayectoria, disposición o arreglo de los cauces y lechos por donde de manera superficial y aparente corre el agua excedente, producto de la precipitación hacia un depósito natural o artificial.

La red de drenaje, consta de una corriente principal y un sistema de corrientes tributarias de menor importancia. La configuración de las redes fluviales, es el producto de las influencias que tienen sobre ellas los suelos, las rocas, el grado de fracturación, estratificación y topografía.

2.2.2. Cauces o álveos.

Según la ley N° 29338, (2009); Un cauce se define como, cauces o álveos al continente de las aguas durante sus máximas crecientes. El cauce o lecho fluvial es la parte de un valle por donde discurren las aguas en su curso: es el confín físico normal de un flujo de agua, siendo sus confines laterales las riberas.

2.2.2.1. Componentes de un cauce.

- A. **Lecho:** Es la superficie sumergida permanentemente de un cauce.
- B. **Riberas:** Son las superficies laterales de un cauce, generalmente se encuentran parcialmente sumergidas; están comprendidas entre el nivel mínimo de sus aguas y el nivel de su máxima creciente.
- C. **Planicies o faja Marginales:** Área inmediata superior al cauce o álveo de la fuente de agua, natural o artificial, en su máxima creciente, sin considerar los niveles de las crecientes por causas de eventos extraordinarios, constituye bien de dominio público hidráulico se sumergen cuando las aguas desbordan el cauce principal.

2.2.2.2. Niveles de agua transportados por un Cauce.

- A. **Nivel mínimo de las aguas:** Nivel de las aguas, calculado o estimado en base a los niveles mínimos de los registros históricos considerando los periodos máximos de información disponible, o de la información disponible en la Unidad Hidrográfica.
- B. **Nivel de máxima creciente.** Nivel de las aguas durante su máxima crecida y en una sección transversal específica del cauce, arroyo, lago, laguna y reservorio; calculado o estimado por métodos directos o indirectos en función de la información existente en la Unidad Hidrográfica. No se considerarán las máximas crecidas por causas de eventos extraordinarios.
- C. **Nivel de Máximas extraordinarias:** Nivel que puede alcanzar un cuerpo de agua al transitar sobre él, la avenida extraordinaria. Esta avenida se establece de acuerdo a la envergadura, importancia y potencial de daños materiales o personales que podría originar el desborde del cuerpo de agua.

2.2.3. Régimen hidrológico.

Hoorelbeke, Cortez, y Carrasco. (s.f.) El régimen hidrológico de un río es el modo de variación de su caudal en el tiempo. En pequeña escala, toma la forma de simples crecidas de algunas horas, o de algunos días. En escala media, es la variación estacional con los períodos de aguas altas y los estiajes. A gran escala, se trata de las variaciones interanuales, de los años secos o lluviosos. Es evidente que este modo de variación, y por lo tanto el régimen, dependen de las lluvias, lo que da un

carácter aleatorio, pero también de la cuenca hidrográfica del río que tiene características bien definidas, que varían poco en el tiempo.

Las variaciones de caudal definen el régimen hidrológico de un río. Las variaciones temporales se dan durante o después de las tormentas. En casos extremos se puede producir la crecida cuando el aporte de agua es mayor que la capacidad del río para evacuarla, desbordándose y cubriendo las zonas llanas próximas. El agua que circula bajo tierra, tarda mucho más en aumentar el caudal y puede llegar al cauce en días, semanas o meses después de la lluvia que generó la escorrentía. Esto se conoce como caudal base. Astromía educativa (s.f.).

2.2.4. Caudal de un río.

Marbello (2013) El caudal también llamado Gasto o Descarga, es la medida del volumen de líquido que fluye o atraviesa normalmente la sección transversal del cauce de una corriente, en una determinada unidad de tiempo. Matemáticamente se expresa así:

$$Q_{(Caudal)} = \frac{\text{Volumen de Liquido}}{\text{Unidad de tiempo}}$$

La medición práctica del caudal de un río en diversas obras hidráulicas, tiene una importancia muy grande, ya que de estas mediciones depende muchas veces el buen funcionamiento del sistema hidráulico como un todo, y en muchos casos es fundamental para garantizar la seguridad de la estructura.

2.2.4.1. Análisis de las series históricas de caudales.

González (s.f.) El caudal es un valor referido a un instante. En las series históricas de caudales se expresa como un valor medio, relativo a un determinado tiempo (día, mes, año, periodo de años):

- A. Caudal instantáneo:** Como su nombre lo dice, es el caudal que se obtiene en un instante determinado a lo largo del día.
- B. Caudal máximo instantáneo:** Es aquel caudal de máximo valor que se obtiene de los caudales máximos instantáneos para un determinado período de retorno, puede ser caudal horario, diario, mensual o anual.

C. Caudal medio diario: Es la media de los caudales instantáneos medidos a lo largo del día.

D. Caudal máximo diario: Es aquel caudal de máximo valor que se obtiene de los caudales medios diarios registrados en un mes o en un año.

E. Caudal medio mensual: El caudal medio mensual es la media de los caudales medios diarios del mes en examen (M = número de días del mes, 28; 30; o, 31, según corresponda)

$$Q_{mm} = \frac{\sum_{i=1}^M Q_{md}}{M}$$

F. Caudal máximo mensual: Es aquel caudal de máximo valor que se obtiene de los caudales medios mensuales de un año de registro.

G. Caudal medio anual: El caudal medio anual es la media de los caudales medios mensuales.

$$Q_{ma} = \frac{\sum_{i=1}^M Q_{mm}}{12}$$

2.2.5. Hidrometría.

Según Marbello (2013) la hidrometría es la parte aplicada de la Hidrodinámica que trata de los métodos de medición de la velocidad, el caudal y las fuerzas de los líquidos en movimiento. La hidrometría comprende también las mediciones de niveles de agua, concentración y transporte de sedimentos, y los levantamientos altimétricos de los perfiles longitudinal y transversal del cauce de las corrientes naturales y de masas de agua.

2.2.5.1. Aforo.

ANA. Es la operación de campo que tiene como finalidad realizar el cálculo del caudal que fluye por una sección de un río o canal.

2.2.5.2. Registro.

Es la colección de todos los datos, que nos permiten cuantificar el caudal que pasa por la sección de un determinado punto de control. El registro de caudales y

volúmenes de agua se ejecuta de acuerdo a las necesidades de información requerida para la gestión del sistema.

2.2.5.3. Sistema hidrométrico.

Es el conjunto de actividades y procedimientos tendientes a conocer (medir, registrar, calcular y analizar) los volúmenes de agua que circulan en cruces y canales de un sistema hidráulico, con el fin de programar y distribuir el agua apropiadamente.

2.2.6. Hidrología estadística.

Chereque (s.f.) El objetivo básico de la aplicación de la estadística en Hidrología es el análisis de la información hidrológica en forma de muestras, a fin de inferir las características con que debe ser esperado en el futuro el fenómeno que se estudia. El avance en el campo de las computadoras y el desarrollo creciente de métodos numéricos han dado una importancia particular al uso de la estadística en todas las ciencias naturales, especialmente en Hidrología.

MTC. (2011), el análisis de frecuencias tiene la finalidad de estimar precipitaciones, intensidades o caudales máximos, según sea el caso, para diferentes períodos de retorno, mediante la aplicación de modelos probabilísticos, los cuales pueden ser discretos o continuos. En la estadística existen diversas funciones de distribución de probabilidad teóricas; recomendándose utilizar las siguientes funciones:

- ❖ Distribución Normal
- ❖ Distribución Log Normal 2 parámetros
- ❖ Distribución Log Normal 3 parámetros
- ❖ Distribución Gamma 2 parámetros
- ❖ Distribución Gamma 3 parámetros
- ❖ Distribución Log Pearson tipo III
- ❖ Distribución Gumbel
- ❖ Distribución Log Gumbel.

2.2.7. Sistema de información geográfica SIG.

INEGI (2014). Un SIG. Se define como un conjunto de herramientas diseñadas para obtener, almacenar, recuperar y desplegar datos espaciales del mundo real.

Según Aronoff (1989), un SIG es un conjunto de procedimientos manuales o computarizados usado para almacenar y tratar datos referenciados geográficamente.

Para Hernandez (2016). Un SIG es un conjunto de medios y métodos informáticos que proporcionan, de forma modular o integrada, herramientas para la introducción, almacenamiento, edición, gestión, análisis y representación gráfica de datos que se caracterizan por la existencia de un componente espacial, por tanto, se trata de datos georreferenciados.

2.2.7.1. Componentes de un Sistema de Información Geográfica.

- A. Equipo (hardware).** la parte física del sistema (CPU y periféricos).
- B. Programas de cómputo (software).** Parte lógica del sistema; dentro de los principales softwares tenemos al ArcGIS (que forma parte de una familia de softwares que conforman a un SIG completo, construido sobre estándares de la industria y que proveen diversas facilidades para el usuario final).
- C. Información geográfica (datos).** Ubicada espacialmente, actualizada, completa y útil para las aplicaciones.
- D. Normas, procedimientos y metodologías.** Se necesita disponer de normas, procedimientos y metodologías con suficiente detalle y probadas para su aplicación.
- E. Personas.** Capacitado en los temas de aplicación y en el manejo de las herramientas de SIG.

2.2.7.2. Funciones del Sistema de Información Geográfica.

Dentro de las funciones básicas de un sistema de información geográfica podemos mencionar las siguientes:

- A. Captura de Datos:** Digitalización, conversión de datos, ingreso de atributos.

- B. Administración de Datos:** Debe caracterizarse por ser eficiente, almacenamiento poco redundante, es decir no permitir la repetición de datos con las mismas características.
- C. Manejo y Análisis de Datos:** Manejo de Proyecciones Cartográficas, Buffers y Superposiciones, Consulta y Selección.
- D. Actualización de Mapas:** Edición gráfica y de atributos.
- E. Despliegue y Salida:** Diseño Cartográfico, Impresiones, Reportes de Listados.

2.2.8. Modelamiento hidráulico.

Ayala (2014). La aplicación de modelos en el campo de la ingeniería es muy común, entendiéndose como modelo a la representación abstracta, conceptual, gráfica o visual física, matemática, de fenómenos, sistemas o procesos a fin de analizar, describir, explicar, simular -en general, explorar, controlar y predecir esos fenómenos o procesos, son una gran herramienta disponible para la solución de problemas.

2.2.8.1. Modelos Hidráulicos Matemáticos.

La mayoría de los modelos hidráulicos se utilizan para la modelación de inundaciones, a continuación, se mencionan algunos de los modelos más utilizados en hidrología.

A. Modelamiento Hidráulico con HEC-RAS.

El modelamiento hidráulico con el software HEC-RAS permite calcular para las diferentes configuraciones de caudales y secciones transversales a lo largo de los tramos de cauce considerados los valores simulados de los niveles de agua, las profundidades de flujo y las velocidades, entre otros variables.

Ramos C. (2005). Nos indica que el modelo HEC-RAS, ha sido desarrollado por el centro de Ingeniería Hidrológica (Hydrologic Engineering Center) del Cuerpo de Ingenieros de la Armada de los EE. UU. El modelo numérico incluido en el programa permite realizar análisis del flujo permanente y no permanente. Entre sus principales características se tiene:

- Realizar el cálculo hidráulico de estructuras (puentes, aliviaderos, etc.)
- Permite visualizar grafica de datos y resultados.
- Permite la edición grafica de resultados la aplicación del modelo HEC-RAS es la modelación hidráulica en régimen permanente y no permanente en causes abiertos, ríos y canales artificiales.

B. Modelamiento hidráulico con Iber.

Bladé (2014), Iber es un modelo matemático bidimensional para la simulación del flujo en lámina libre y procesos de transporte en ríos y estuarios, fue desarrollado por el Grupo de Ingeniería del Agua y del Medio Ambiente, GEAMA (Universidad de A Coruña, UDC) y el Instituto FLUMEN (Universidad Politécnica de Catalunya, UPC, y Centro Internacional de Métodos Numéricos en Ingeniería, CIMNE).

Con Iber se pueden realizar gran cantidad de modelos numéricos con aplicación a la hidráulica y morfología fluvial. El cálculo de flujo en ríos, definición de zonas inundables, evaluación de zonas de riesgo, y delimitación de vías de intenso desagüe, supuestos donde el flujo es bidireccional, son algunas de sus aplicaciones fundamentales. Se incluye entre sus posibilidades el transporte de sedimentos y transporte de fondo junto con el flujo de marea en estuarios. La simulación de paso del agua bajo puentes, compuertas y vertederos se puede realizar también incluyendo el efecto del viento, y siendo posible modelizar la rotura de balsas y presas; problema en dos dimensiones que presenta habitualmente grandes dificultades de estabilidad.

La simulación hidráulica con los softwares antes descritos es de gran ayuda para las autoridades debido que facilita la toma de decisiones, respecto a cómo mantener las riberas de un río seguras, reduciendo riesgos de inundación.

2.3. GLOSARIO DE TÉRMINOS.

- **Curva de nivel:** es aquella línea que en un mapa une todos los puntos que tienen igualdad de condiciones, normalmente altitud sobre el nivel del mar o profundidad.
- **Cuartil:** son los tres valores que dividen un conjunto de datos ordenados en cuatro partes porcentualmente iguale.

- **Datum WGS 84:** (World Geodetic System 1984) es un sistema de coordenadas geográficas mundial que permite localizar cualquier punto de la Tierra.
- **Hito:** señal clavada en el suelo que sirve para marcar el límite de un territorio o de una propiedad, o para indicar las distancias o la dirección en un camino
- **Hyfran:** es un software que permite ajustar datos a leyes estadísticas. Incluye un conjunto de instrumentos matemáticos, poderosos, accesibles y flexibles que permiten en particular el análisis estadístico de eventos extremos y de manera más general el análisis estadístico de una serie de datos.
- **Modelo Digital del Terreno MDT:** un MDT viene a ser la representación digital de la superficie terrestre; conjunto de capas (generalmente Ráster) en el cual se representan distintas características de la superficie terrestre derivadas de una capa de elevaciones a la que se denomina Modelo Digital de Elevaciones (DEM).
- **Periodo de retorno:** período de retorno es una representación usada comúnmente para presentar un estimativo de la probabilidad de ocurrencia de un evento determinado en un periodo determinado.
- **Raster:** un ráster consta de una matriz de celdas (píxeles) organizadas en filas y columnas en la que cada celda contiene un valor que representa información. Los ráster son fotografías aéreas digitales, imágenes de satélite, imágenes digitales o incluso mapas escaneados.
- **Umbral Máximo:** representa el valor máximo de la muestra de datos hidrométricos analizada.

2.4. MARCO REFERENCIAL

2.4.1. Ley de Recursos Hídricos ley N° 29338.

Artículo 6.- Bienes asociados al agua.

Artículo 15.- Funciones de la Autoridad Nacional. Son funciones de la Autoridad Nacional las siguientes:

Artículo 74.- Faja marginal. En los terrenos aledaños a los cauces naturales o artificiales, se mantiene una faja marginal de terreno necesaria para la protección, el uso primario del agua, el libre tránsito, la pesca, caminos de vigilancia u otros servicios. El Reglamento determina su extensión.

2.4.2. Reglamento de la ley de recursos hídricos ley N° 29338.

Artículo 114.- Criterios para la delimitación de la faja marginal. La delimitación de la faja marginal se realiza de acuerdo con los siguientes criterios:

Artículo 115.- Actividades prohibidas en las fajas marginales

115.1.- Está prohibido el uso de las fajas marginales para fines de asentamiento humano, agrícola u otra actividad que las afecte. La Autoridad Nacional del Agua en coordinación con los gobiernos locales y Defensa Civil promoverán mecanismos de reubicación de poblaciones asentadas en fajas marginales.

Artículo 116.- Fajas marginales en cauces artificiales

Los estudios de las obras de infraestructura hidráulica mayor definirán las dimensiones de las fajas marginales correspondientes, las mismas que serán habilitadas en la etapa constructiva del proyecto.

Artículo 117.- De la señalización de los linderos de la faja marginal

La señalización en el lugar de los linderos de la faja marginal, previamente fijados por la Autoridad Administrativa del Agua, se efectuará mediante el empleo de hitos u otras señalizaciones.

Artículo 118.- De los programas de mantenimiento de la faja marginal. La Autoridad Administrativa del Agua, en coordinación con el Ministerio de Agricultura, gobiernos regionales, gobiernos locales y organizaciones de usuarios de agua promoverá el desarrollo de programas y proyectos de forestación en las fajas marginales para su protección de la acción erosiva de las aguas.

Artículo 119.- Reservas para fines de defensa nacional. A iniciativa del Ministerio de Defensa y con la opinión de la Autoridad Nacional del Agua, mediante Decreto Supremo refrendado por el Presidente del Consejo de Ministros se determinarán las fajas marginales a reservarse para fines de defensa nacional.

Artículo 120.- Del régimen de propiedad de terrenos aledaños a las riberas.

120.1.- En las propiedades adyacentes a las riberas, se mantendrá libre una faja marginal de terreno necesaria para la protección, el uso primario del agua, el libre tránsito, la pesca, caminos de vigilancia u otros servicios públicos, según corresponda.

2.4.3. Reglamento para la delimitación y mantenimiento de fajas marginales en cursos fluviales y cuerpos naturales y artificiales. R.J. N°332 –2016 –ANA.

Artículo 6.- Metodología para la determinación de la faja marginal. La metodología para delimitar la faja marginal de cauces naturales o artificias comprende las siguientes etapas:

- a) Delimitación del límite superior de la ribera. Se establece a través de Modelamiento Hidráulico o Huella Máxima.
- b) Determinación del ancho de la faja marginal. Se establece conforme a los criterios establecidos en el artículo de 12 del presente reglamento.

Artículo 9.- Modelamiento Hidráulico

9.1. El modelamiento hidráulico utiliza información topográfica y caudales máximos instantáneos. Con esta información se efectúa el tránsito de avenidas con la finalidad de establecer el límite superior de la ribera.

9.2. La determinación de los caudales máximos se establece de acuerdo con los siguientes criterios:

- a) En cauces naturales de agua colindantes a terrenos agrícolas: periodo de retorno de 50 años.
- b) En cauces naturales de agua colindantes a asentamientos poblacionales: periodo de retorno de 100 años.

9.3. La determinación de los caudales máximos se realiza con información estadística de por lo menos 20 años. A falta de información, esta podrá ser generada mediante modelos hidrológicos. No se consideran valores de caudales máximos por eventos extraordinarios.

2.5. HIPÓTESIS DE LA INVESTIGACIÓN.

2.5.1. General.

- ❖ Se puede realizar la delimitación de las Fajas Marginales del Rio Piura, en el tramo Presa los Ejido y Puente Miguel Grau, En base a la evaluación y procesamiento de información hidrométrica y topográfica.

2.5.2. Especifica

- ❖ Con la obtención de la topografía del tramo en estudio mediante sistemas de información geográfica se podrá realizar la delimitación de las fajas marginales.
- ❖ La evaluación de datos hidrométricos permitirá obtener información necesaria para realizar la delimitación de las fajas marginales.
- ❖ El Modelamiento Hidráulico realizado con ayuda del software antes descrito permitirá ver los niveles máximos del tirante y la cota de agua alcanzados para los diferentes caudales y tiempos de retornos empleados.
- ❖ Se determinará los límites de la Fajas Marginales del rio Piura en base a la información hidrométrica y topográfica; proseguida con software tales como Arcgis, Iber, etc.

2.5.3. Variables de estudio.

Dentro de proceso de identificación de variables se logró determinar las siguientes:

2.5.3.1. Variables independientes.

- A. Caudal:** para este proyecto el caudal, es considerado una variable independiente con una cierta distribución. Para su estimación es necesario contar con registros históricos de caudales máximos con un mínimo de 20 años, cuando mayor sea el tamaño de registros, mayor será la aproximación del cálculo del caudal.
- B. Topografía:** la pendiente, las secciones, así como los modelos de elevación digital, se determinan en base a la información topográfica la cual se obtiene mediante levantamientos topográficos de la zona en estudio, o a través del procesamiento de cartas nacionales, imágenes satelitales con software GIS (sistemas de información geográfica).

C. Rugosidad: los coeficientes de rugosidad del cauce en estudio están en función al tipo de material y acabado del mismo (en caso de presencia de estructuras hidráulicas); sus valores pueden variar de un tramo a otro en el anexo N° 2 se presentan los valores del coeficiente de rugosidad de Manning.

2.5.3.2. Variables dependientes.

A. Modelamiento Hidráulico: Se considera una variable dependiente ya que para su determinación es necesario contar con las variables antes descritas (caudales, topografía, rugosidad o uso de suelos).

CAPÍTULO 3: MARCO METODOLOGICO.

En este capítulo se detallan los materiales empleados y se explica la metodología desarrollada desde el inicio de la investigación hasta la elaboración del presente informe, de tal forma que se mantenga en lo posible la secuencia de la Metodología empleada en la ejecución de este proyecto.

3.1. MATERIALES.

Para ejecutar el proyecto de Delimitación de las Fajas Marginales de un tramo de 9.5 Kilómetros de longitud del Rio Piura fue necesario disponer de los siguientes materiales.

3.1.1. Zona de estudio.

3.1.1.1. Ubicación.

La zona materia de investigación se localiza en el Rio Piura, tramo comprendido entre la Presa Los Ejidos y Puente Miguel Grau, en los Distritos de Piura y Castilla, Provincia de Piura, Departamento de Piura. Geográficamente, se ubica en la parte baja de la cuenca del rio Piura la misma que a su vez se encuentra entre los paralelos 4°42' y 5°45' de latitud sur, y entre los meridianos 79°29' y 81°00' de longitud oeste. (Ver figura 01).

Figura N° 1: Zona de estudio.



3.1.1.2. Descripción de la Zona.

El proyecto se desarrolló sobre un tramo del río Piura 9.5 Kilómetros de longitud, el mismo que tiene como punto de inicio la desembocadura de la Presa Los Ejidos y como punto final considerado el Puente Miguel Grau; cabe destacar que el tramo objeto de estudio, más de un sesenta por ciento atraviesa áreas urbanas, y es principalmente en estas zonas donde se concentran los puntos de mayor problemática, debido a factores anteriormente descritos tales como el asentamiento de viviendas, locales comerciales, y construcción de infraestructura de servicio público sobre las fajas marginales, e incluso dentro del mismo cauce del río.

A. Actividades Productivas.

Tal como se señala en párrafos anteriores, una parte del tramo del río considerado para este proyecto atraviesa áreas urbanas de Piura y Castilla limitando directa e indirectamente con Urbanizaciones, Asentamientos Humanos, centros comerciales, instituciones públicas y privadas y otra parte limita con áreas agrícolas, donde se desarrollan diversas actividades económicas (comercio, transporte, actividades académicas, etc. para el tramo que atraviesa áreas urbanas y actividades agrícolas en el tramo ubicado fuera de la ciudad).

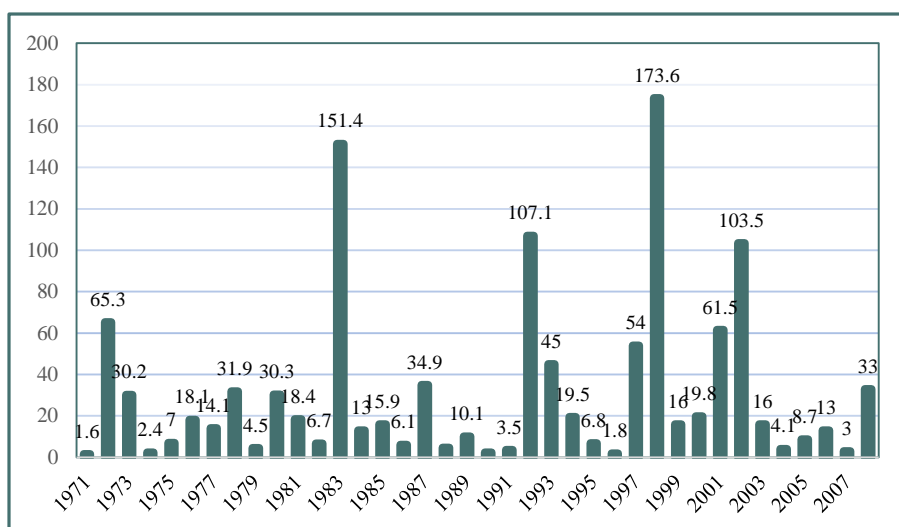
B. Características Climatológicas.

El clima en la región Piura, tiene características propias y variables. La Costa o parte baja de la cuenca presenta un clima cálido y soleado, provisto de precipitaciones irregulares pero cada cierto tiempo con consecuencias catastróficas. En la parte alta de la cuenca el clima es templado con precipitaciones estacionales.

Las temperaturas a lo largo del año son ligeramente variables según registro demuestran niveles máximos que llegan a los 36 °C y mínimos igual a 15.0 °C que corresponde a los meses de febrero y junio respectivamente. La humedad promedio anual es de 66%, la presión atmosférica media anual es de 10085.5 milibares en tanto que los vientos que siguen una dirección al sur tienen una velocidad promedio de 3.0 m/s. Las precipitaciones pluviales también muestran variaciones. En la Costa generalmente baja dentro de los 100 y 500 m.s.n.m. oscilando en esta parte entre 10 y 200 mm/año; entre los 500 y 1,500 m.s.n.m., las precipitaciones llegan entre los 200 y 800 mm/año y en la zona ubicada sobre los 1,500 m.s.n.m. el promedio de precipitaciones pluviales es de 1,550 mm/año.

El clima de la zona de estudio de los distritos de Castilla, Piura corresponde al tipo subtropical, seco y árido con características similares imperantes en las regiones desérticas donde la temperatura es templada en casi todo el año, con una mínima que llega a los 18°C y la máxima alcanza los 37°C; con una precipitación anual promedio de 250mm.

Figura N° 2: Precipitación máxima anual en Estación Miraflores (1971-2008).



B.1. El Fenómeno El Niño (FEN): Se define un fenómeno natural de origen Océano Atmosférico, que afecta a casi todo el planeta, manifestándose con más fuerza en el litoral del Pacífico Sur; es uno de los principales eventos climatológicos que mantiene expectante a la región piurana, por las altas temperaturas presentes durante casi todo el año, las intensas lluvias, que modifican el aspecto desértico de la Costa y sobre todo por las catástrofe que generan cuando se presentan, como ejemplo de ello tenemos a los eventos registrados durante las últimas décadas, 1983, 1998, y el ultimo evento climatológico ocurrido en marzo del 2017, (PECHP) recordado no solo por su magnitud sino por la caótica situación y cuantiosas pérdidas económicas que tuvieron que soportar las ciudades de Piura y castilla a raíz de la inundación generada.

La costa norte del Perú tiene una alta sensibilidad al FEN y, tanto que, éstos han dejado su registro en algunas fuentes naturales de la región tales como en ruinas arqueológicas, cordones litorales en desembocaduras de ríos y quebradas, y en el anillado de algunos árboles de la región, estudiados por la Dendrocronología (disciplina aporta mucho al conocimiento y caracterización del FEN).

La presente tabla muestra información, que se encuentra registrada sobre los diferentes FEN, que se han presentado hasta el momento, además muestra también las fuentes documentales que se han utilizado, donde se ha presentado la anomalía y su clasificación, siendo catalogada con diferentes siglas que indican la magnitud del impacto generado.

Cuadro N° 3: Eventos de Fenómeno El Niño de intensidades fuertes y bastantes fuertes.

Evento de El Niño	Fuerza del evento	Grado de Confianza	Evento de El Niño	Fuerza del evento	Grado de Confianza
1525-1526	F	3	1747	F	5
1531-1532	F	4	1761	F	4
1539-1541	MF	3	1775	F	5
1552	F	4	1785-1786	F	5
1567-1568	F	5	1791	MF	5
1574	F	4	1803-0804	F	5
1578	MF	5	1814	F	4
1591-1592	F	2	1828	MF	5
1607	F	5	1844-1845	F	5
1614	F	5	1864	F	5
1618-1619	F	4	1871	F	5
1624	F	4	1877-1878	MF	5
1634	F	4	1884	F	5
1652	F	4	1891	MF	5
1660	F	4	1899-1900	F	5
1671	F	3	1911-1912	F	4
1681	F	3	1917	F	5
1687-1688	F	4	1925-1926	MF	5
1696	F	3	1932	F	5
1701	F	4	1940-1941	F	5
1707-1708	F	3	1956-1957	F	5
1714-1715	F	4	1971-1972	MF	5
1720	F	4	1982-1993	MF	5
1728	MF	5	1997-1998	MF	5

Fuente: Ortlieb, (1993)

F: Fuerte.

MF: Muy Fuerte

2: Eventos basados en pruebas circunstancial limitada.

3: Referencias adicionales necesarias para afirmar la época en que se produjo o la intensidad.

4: La información sobre la época en que ocurrió y la intensidad es satisfactoria, pero más gustaría tener referencias adicionales sobre la extensión del área.

5: Se considera satisfactoria la información existente sobre intensidad y ocurrencia.

C. Características Geológicas y geodinámicas de la zona en estudio.

❖ Geología local.

- **Formación Zapallal:** La formación Zapallal aflora en algunos lugares del Tramo en estudio, especialmente en las cercanías de la represa Los Ejidos,

margen izquierda del río, así como en las cercanías del puente Cáceres, en ambas márgenes del río, y en las cercanías del Puente Sánchez Cerro, margen izquierda.

- **Los Tablazos:** Litológicamente los tablazos son un conglomerado conchífero o una coquina areniscosa moderadamente consolidada, con cemento calcáreo, con cambios litológicos laterales, conteniendo algunos ejemplares moldes de bivalvos y balanús en estado más o menos fosilizado; en el área de estudio se presentan en la cercanía de la Presa Los Ejidos, margen izquierda del río, donde se encuentran a manera de bloques rocosos caídos en la ribera del río.
- **Depósitos Eólicos:** Se les encuentra en la margen derecha del Río Piura especialmente en las cercanías de la presa Los Ejidos conformando mantos de arena eólica pobremente diagenizada, estabilizados por la vegetación y que se encuentran cubriendo los depósitos fluviales en algunos sectores del tramo.
- **Depósitos Fluviales:** Se hallan acumulados en el fondo y márgenes de los grandes cursos fluviales y están constituidos por conglomerados inconsolidados, arenas sueltas y materiales limo arcillosos. En el Tramo en estudio se encuentran constituyendo las terrazas ubicadas en ambas márgenes del Río Piura y cubiertas por arenas eólicas.

❖ **Geodinámica Externa Local.**

- **Inundaciones:** Constituyen el principal fenómeno de la Geodinámica Externa que afectan a la cuenca, se tienen referencias de su ocurrencia desde la época de la Colonia, con mayor incidencia en la cuenca baja, en el presente tramo se producen inundaciones sobre todo en la zona cercana a la presa a Los Ejidos por su margen derecha, así mismo a la altura de la UNP por su margen izquierda y hacia la margen derecha a la altura de la Urbanización Los Cocos y pasando el puente Bolognesi por ambas márgenes
- **Erosión de Riberas:** Es un fenómeno que se presenta en mayor o menor grado de intensidad a lo largo del tramo. Las principales causas de su

ocurrencia son: el incremento brusco de sus descargas en cada temporada de lluvias y las variaciones de su dinámica fluvial.

La erosión tiende a afectar a las riberas naturales y en algunos casos a riberas formadas por rellenos artificiales

La destrucción se produce, además del efecto de la acción hidráulica, por el impacto en las márgenes de los sólidos y sedimentos que arrastra el caudal, los que causan daños a las obras de infraestructura vial y agrícola (carreteras, tomas de agua, etc.), campos de cultivo y viviendas que se ubican en las riberas del río, fenómeno que se muestra en la mayor parte del tramo especialmente en el sector de la Presa Los Ejidos y El Chipe por la margen derecha del río Piura y además se puede observar erosión de riberas pasando el puente Bolognesi tanto por la margen derecha como por la margen izquierda.

- **Arenamiento:** Constituyen fenómenos de geodinámica externa importante en el área, y se refiere a la gran migración de arenas en la cuenca baja proveniente de las dunas que constituyen la zona del desierto de Sechura y otras fuentes de la cuenca alta, los que son transportados en suspensión y por el viento en distintas direcciones y en especial hacia el cauce del río Piura.

En este tramo se aprecian acumulaciones de arena cubriendo terrenos en la margen derecha del río en las cercanías de la Presa Los Ejidos y a lo largo de ambas márgenes aguas abajo del puente Bolognesi, constituyendo bancos de varios metros de espesor y centenas de metros de longitud.

D. Geología de y uso de suelo de la zona en estudio.

Según el Plan Director de Piura-Castilla al 2010, las riberas del Río Piura en el tramo en estudio, se consideran suelos de uso residencial (60%), agro urbana (20%) y de forestación (20%). Estos suelos se encuentran afectados por actividades antropogénicas como el arrojo de basura y descargas de aguas residuales, el funcionamiento de ladrilleras artesanales y fábrica envasadora que ahí se encuentran, esporádicos cultivos de corta extensión y el resto, suelo del cauce del río, se considera suelo como uso natural.

Cabe resaltar también que actualmente en diferentes tramos de zona objeto de investigación se vienen desarrollando actividades comerciales.

3.1.2. Equipos y accesorios:

- GPS (Sistema de Posicionamiento Global)
- Laptop.
- Cámara fotográfica.
- Wincha
- Libreta de notas
- Imágenes Satelitales

3.1.3. Software:

- ArcGis 10.3
- AutoCAD Civil 3D 2015
- IBER
- Hec-Ras 5.0.3
- Google Earth Pro.

3.2. METODOLOGÍA.

La metodología utilizada en este proyecto es del tipo descriptivo, explicativo y predictivo, fundamentado en el empleo de información topográfica e hidrométrica; cuyas fases de investigación se describen a continuación.

3.2.1. Fase preliminar.

3.2.1.1. Identificación de la problemática y Definición de objetivos.

La identificación de la problemática fue uno de los puntos de partida de este proyecto de investigación a partir de la cual se logró definir de forma clara los objetivos que se pretende alcanzar, los cuales deben ser coordinados con los diversos actores, articulando los instrumentos de gestión existentes y la legislación vigente.

3.2.1.2. Definición del marco conceptual.

En base a los objetivos planteados, se procede a definir el marco conceptual, para priorizar y orientar los objetivos del proceso, según las expectativas del trabajo.

3.2.1.3. Elaboración del Proyecto de tesis.

Una vez definido el marco conceptual de referencia, se procede a elaborar el plan de trabajo (proyecto de tesis), en el cual se consideró los siguientes planteamientos: problemática, objetivos, metodología, los recursos necesarios, presupuesto y cronograma de ejecución.

3.2.2. Fase de Campo.

Esta etapa comprende la recopilación y obtención de la información necesaria para el proceso de Delimitación de las Fajas Marginales del Rio Piura Tramo comprendido entre la presa los Ejidos y Puente Miguel Grau (información Topográfica, Hidrométrica, e información teoría de estudios antes realizados, etc.)

Esta fase incluye el desarrollo de diversas actividades tales como visitas a campo o zona objeto de estudio, visitas a diferentes instituciones quienes nos facilitaron la información antes descrita:

- **Agrorural:** Oficina descentralizada Piura a quien se le solicito la información topográfica correspondiente al año 2017.
- **Consejo de Recursos Hídricos de la cuenca Chira Piura:** información Topográfica año 2015.
- **Proyecto Especial Chira Piura:** información Hidrométrica.

3.2.3. Fase de análisis y procesamiento.

En esta fase conocida también como etapa de gabinete se procedió a la revisión y análisis de toda la información recopilada, para su posterior procesamiento, teniendo en cuenta las variables de estudio, identificadas en los capítulos anteriores.

Por conveniencia y para facilitar las actividades desarrolladas en esta fase se optó por subdividirlas de la siguiente manera.

3.2.3.1. Evaluación de la información hidrométrica.

A. Obtención de la base de datos.

La información hidrológica de la cuenca del Río Piura es manejada por las siguientes instituciones: SENAMHI (Servicio Nacional de Hidrología y Meteorología) y PECHP (Proyecto Especial Chira Piura; Dirección de Operación y Mantenimiento), dichas instituciones a su vez proporcionan información al Gobierno Regional de Piura (Recursos Naturales y Gestión del Medio Ambiente), al consejo de Recursos Hídricos de La cuenca Chira Piura, entre otras organizaciones. Siendo estas dos últimas instituciones y el PECHP quienes nos facilitaron la Data Hidrométrica requerida en este proyecto de investigación.

Para la estimación de caudales empleados en el Modelamiento Hidráulico, se hizo uso la Data Hidrométrica registrada en la Estación Puente Sánchez Cerro la misma que actualmente está bajo administración del PECHP. Según el Instituto Nacional de Defensa Civil en su *Programa Ciudades Sostenibles*; describe que la información hidrométrica del Río Piura ha sido registrada desde el año 1925 por diferentes instituciones y en diferentes puntos. En el año 1971, el Proyecto Especial Chira – Piura (PECHP) implementa una sección de control ubicada a 50 metros aguas arriba del Puente Sánchez Cerro (Estación Puente Sánchez Cerro), equipada con un limnógrafo; y sistematiza la información hidrométrica del Río Piura.

Durante el Fenómeno El Niño del año 1983, se produce el colapso de la estación limnográfica, por lo que, a partir de febrero de 1983, el control se realiza con lecturas de mira. En noviembre de 1985, fecha en que inicia la operación de la Presa Derivadora Los Ejidos, el control de las descargas se traslada a la dicha estructura. Debido a la poca distancia entre el Puente Sánchez Cerro y Presa Los Ejidos, los registros se consideran el mismo, denominándose así registros de descarga de la estación: Puente Sánchez Cerro / Los Ejidos.

B. Estructura de Base de Datos.

Para fines del presente estudio, teniendo en cuenta el criterio establecido por la Autoridad Nacional del Agua, en su Resolución Jefatural N°332 (28/12/2016) en

el cual especifica contar con un registro estadístico de descargas con un periodo mínimo de 20 años; se dispone de una completa y representativa serie de datos hidrométricos cuyos registros datan desde el año 1975, como muestra de ello se presentan las siguientes tabas de caudales registrados en los últimos años. Máximas instantáneas y descargas medias mensuales.

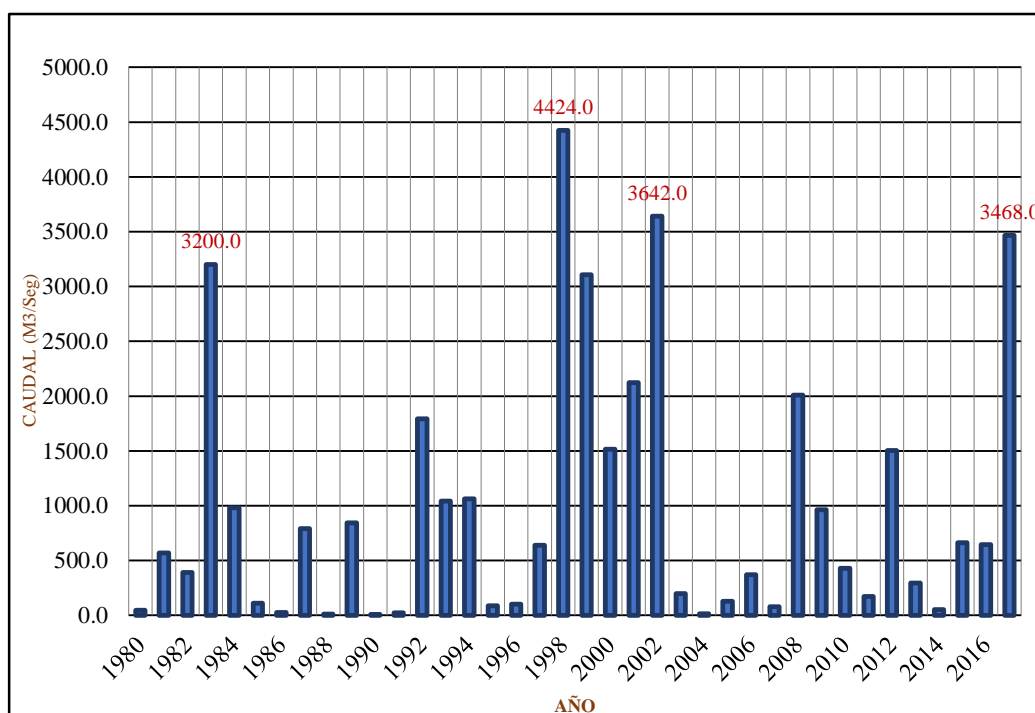
Cuadro N° 4: Descargas Máximas Instantáneas Mensuales en m³/seg. (Estación Puente Sánchez Cerro periodo 1975 – 2017).

DESCARGAS MÁXIMAS INSTANTANEAS MENSUALES EN M3/S.													
AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC	MÁX
1975	29.5	31.9	272.5	133.0	22.8	19.6	13.6	9.9	9.0	9.6	8.8	5.3	272.5
1976	69.0	190.0	388.0	290.0	81.0	34.0	11.4	9.9	10.2	38.0	42.5	45.2	388.0
1977	26.4	310.0	646.0	281.5	70.8	24.6	77.5	40.8	35.8	17.0	10.6	29.6	646.0
1978	30.0	30.0	42.0	167.0	34.0	17.5	12.6	8.8	18.5	19.5	20.5	6.0	167.0
1979	44.0	38.6	63.5	74.0	41.0	21.0	14.7	7.8	12.3	16.9	14.7	15.1	74.0
1980	40.2	41.1	41.1	45.3	38.3	23.5	21.0	19.0	16.6	15.8	17.4	12.6	45.3
1981	40.9	49.0	568.0	67.8	34.0	24.4	16.0	16.8	10.4	20.8	9.2	13.6	568.0
1982	32.5	38.0	33.4	34.2	32.6	22.0	18.6	9.2	6.0	7.6	2.6	390.0	390.0
1983	1670.0	1635.0	2865.0	2475	3200.0	1750.0	260.0	79.0	18.0	16.0	14.0	10.0	3200.0
1984	18.2	480.0	980.0	370.0	102.0	44.0	44.0	22.0	23.0	19.0	7.8	7.8	980.0
1985	46.0	60.0	112.0	42.0	60.0	22.0	26.0	17.9	12.0	6.7	7.3	8.6	112.0
1986	23.0	25.0	9.6	12.0	20.5	9.3	14.4	4.9	4.8	5.0	18.0	4.0	25.0
1987	10.6	170.0	790.0	200.0	250.0	75.0	37.5	12.5	2.5	2.3	4.3	6.0	790.0
1988	2.7	5.7	6.5	4.0	3.5	6.0	3.9	1.3	2.2	3.1	10.0	10.0	10.0
1989	5.0	466.0	845.0	390.0	46.1	24.8	13.5	10.5	8.0	25.7	25.5	7.0	845.0
1990	1.0	5.5	0.5	2.0	7.6	2.0	9.0	8.0	1.0	7.0	0.0	5.0	9.0
1991	0.0	16.5	14.2	14.2	5.7	24.5	0.0	5.7	5.7	13.0	6.0	5.7	24.5
1992	0.0	5.7	1674.2	1793.0	247.0	25.0	14.3	5.7	0.0	0.0	7.0	5.7	1793.0
1993	0.0	118.5	1042.0	616.7	84.3	56.8	57.0	11.4	5.7	5.7	8.5	7.5	1042.0
1994	27.0	251.0	1000.0	1062.0	85.6	91.6	14.3	11.4	17.0	11.4	5.7	5.7	1062.0
1995	0.0	87.0	78.5	48.5	14.4	10.0	17.3	0.0	1.0	0.5	3.0	0.0	87.0
1996	1.0	4.0	100.9	5.7	6.2	10.4	10.0	10.0	10.0	0.0	8.5	40.0	100.9
1997	10.0	0.5	10.0	21.6	7.3	10.0	20.0	5.7	5.7	0.0	0.0	638.1	638.1
1998	1485.2	3340.0	4424.0	3816.0	1936.0	185.0	84.0	74.0	14.2	11.5	23.3	6.7	4424.0
1999	6.7	3107.0	1192.2	268.0	211.0	75.0	47.0	38.0	26.0	26.0	11.0	14.0	3107.0
2000	0.4	199.5	1516.0	330.0	132.0	82.0	75.0	69.0	23.0	10.5	0.0	41.0	1516.0
2001	135.0	344.0	2096.0	2124.0	107.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	2124.0
2002	0.0	256.2	1901.0	3642.0	134.0	68.0	71.0	62.6	32.5	14.3	14.4	18.3	3642.0
2003	42.7	55.1	199.6	11.5	16.1	156.0	35.8	11.5	5.7	5.7	0.0	0.0	199.6
2004	14.0	5.0	0.0	4.0	0.0	0.0	4.0	3.0	0.0	0.0	0.0	0.0	14.0
2005	125.0	0.0	128.0	76.0	5.0	5.0	10.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	128.0
2006	0.0	105.5	370.0	239.0	30.0	10.0	5.0	10.0	5.0	0.5	5.0	5.0	370.0
2007	5.0	5.0	50.0	66.0	35.0	80.0	33.0	5.0	5.0	8.0	10.0	10.0	80.0
2008	23.0	1495.0	1447.0	2010.0	132.8	120.0	67.0	42.5	5.0	10.6	16.4	18.5	2010.0
2009	664.0	701.0	963.0	244.0	98.0	87.0	65.0	33.0	9.0	7.0	96.0	7.0	963.0
2010	27.0	425.0	428.0	311.0	66.0	66.0	10.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	428.0
2011	0.0	100.0	27.0	171.0	66.0	16.0	155.0	15.0	0.0	12.0	5.0	34.0	171.0
2012	106.0	1348.0	1503.0	646.0	125.0	232.0	80.0	16.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1503.0
2013	48.0	13.0	296.0	36.0	0.0	0.0	4.0	0.5	2.0	0.0	0.0	0.7	296.0
2014	0.3	5.0	51.0	42.0	23.0	5.0	5.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	51.0
2015	15.0	5.0	662.2	449.9	34.0	46.0	32.1	8.0	7.0	5.0	5.0	0.0	662.2
2016	5.0	184.9	644.0	205.0	192.0	44.0	44.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	644.0
2017	27.0	1610.0	3468.0	2005.0	256.0	216.0	90.0	66.0	18.0	0.5	0.6	10.0	3468.0

Fuente: Proyecto Especial Chira Piura

Los datos que aparecen resaltados evidencian la presencia de un evento extraordinario.

Gráfico N° 1: Descargas Máximas Instantáneas Anuales (m³/Segundo).



C. Métodos Empleados para la estimación caudales.

Antes de realizar la estimación de caudales máximos instantáneos para diferentes periodos de retorno, se optó por efectuar un análisis previo a la data hidrométrica, dicho tratamiento consistió en lo siguiente:

Identificar los años, durante los cuales se presentaron las máximas avenidas a las cuales se les denomina “eventos extraordinarios” los mismos que posteriormente pasarán a ser descartados, tal como lo establece el Reglamentos de Delimitación de Fajas Marginales.

El proceso de identificación de eventos extraordinarios, consiste en determinar un Caudal máximo, para obtener el valor de dicho caudal, en un principio se determina del valor de tres cuartiles de todos los datos hidrométricos, seguido a ello se establece el Rango Inter cuartílico, posterior mente se determina el Caudal y el umbral máximo, en las siguientes tablas que presentamos se muestra los valores de los datos antes descritos.

Cuadro N° 5: Estimaciones del valor del caudal máximo a emplear.

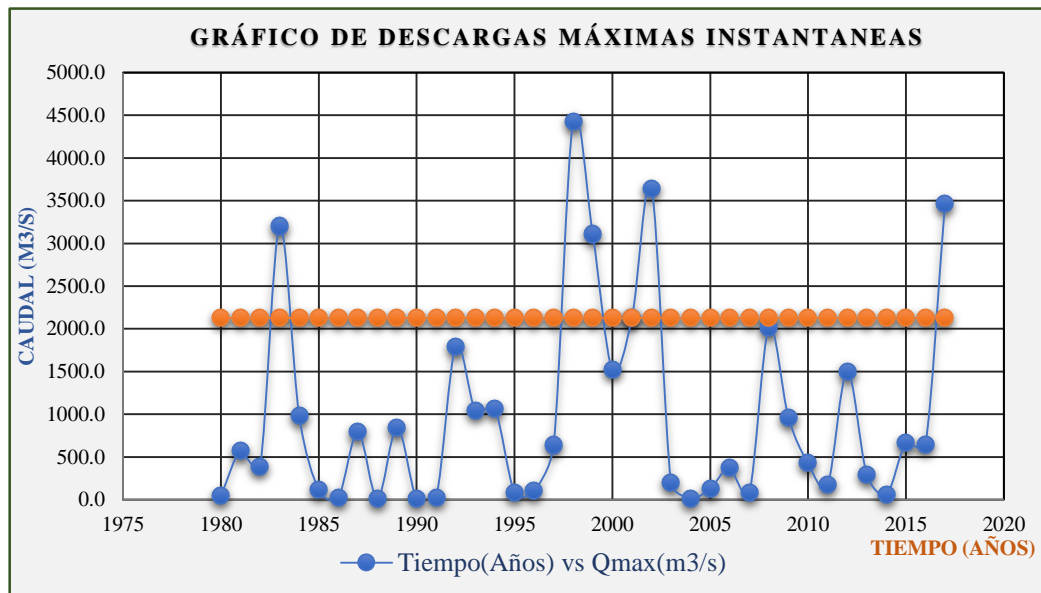
N°	Descripción	Valor
1	Q1 = Cuartil uno	106.45
2	Q2 = Cuartil dos	428
3	Q3 = Cuartil tres	1052
4	IQR=Q3-Q1= Rango Intercuartilico.	945.55
5	Imax = (Q3+1.5*IQR)= Caudal Máximo estimado	2470.325
6	Umbral Máximo: se obtiene de la muestra una vez descartados los caudales extraordinarios.	2124.00

Cuadro 1: Identificación de descargas extraordinarias.

ID	Año	Caudal (m3/s)	X < lmax	Observación
1	1975	272	272.00	
2	1976	388	388.00	
3	1977	646	646.00	
4	1978	167	167.00	
5	1979	74	74.00	
6	1980	45.3	45.30	
7	1981	568	568.00	
8	1982	390	390.00	
9	1983	3200		Extraordinario
10	1984	980	980.00	
11	1985	112	112.00	
12	1986	25	25.00	
13	1987	790	790.00	
14	1988	10	10.00	
15	1989	845	845.00	
16	1990	9	9.00	
17	1991	24.5	24.50	
18	1992	1793	1793.00	
19	1993	1042	1042.00	
20	1994	1062	1062.00	
21	1995	87	87.00	
22	1996	100.9	100.90	
23	1997	638.1	638.10	
24	1998	4424		Extraordinario
25	1999	3107		Extraordinario
26	2000	1516	1516.00	
27	2001	2124	2124.00	
28	2002	3642		Extraordinario
29	2003	199.6	199.60	
30	2004	14	14.00	
31	2005	128	128.00	

32	2006	370	370.00	
33	2007	80	80.00	
34	2008	2010	2010.00	
35	2009	963	963.00	
36	2010	428	428.00	
37	2011	171	171.00	
38	2012	1503	1503.00	
39	2013	296	296.00	
40	2014	51	51.00	
41	2015	662.2	662.20	
42	2016	644	644.00	
43	2017	3468		Extraordinario

Gráfico N° 2: Caudales extremos a ser descartados.



Una vez descartados los eventos extraordinarios, (correspondientes a seis años de registros; 1965, 1983, 1998, 1999, 2002 y 2017) se obtuvo una muestra de 38 datos hidrométricos con la cual finalmente se trabajó.

Para el proceso de estimación de caudales empleados en el Modelamiento Hidráulico se optó por aplicar dos distribuciones estadísticas consideradas de mayor precisión y confiabilidad (Gumbel, Pearson tipo III).

❖ Distribución Gumbel.

La distribución Gumbel es una de las distribuciones de valores extremos, es llamada también valor extremo tipo I o distribución doble exponencial. La ley de Gumbel o ley de los valores extremos, se utiliza generalmente para ajustar a una

expresión matemática las distribuciones empíricas de frecuencias de caudales máximos, precipitaciones máximas.

La función distribución Gumbel tiene la siguiente expresión:

$$F(x) = 1 - e^{-e^{-y}}$$

Donde

x = Caudal máximo instantáneo para cada año

e = Base de logaritmos neperiano

α = Parámetro de concentración

$$\alpha = \frac{\sigma}{\sigma_y}$$

β = Parámetro de localización

$$\beta = \mu - \mu_y \alpha$$

También se tiene que:

μ = Media Aritmética de la muestra

$$\mu = \frac{\sum x}{n}$$

σ = Desviación estándar de los datos.

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum (x - \mu)^2}{n - 1}}$$

Los valores de μ_y , σ_y se obtienen tomando en cuenta el número de datos que posee la muestra, en la tabla adjunta se aprecian algunos valores. Algunos autores utilizan $\mu_y = 0.45$; $\sigma_y = 1.2825$ sin considerar el número de datos. Lo cual equivale a considerar no la muestra sino toda la población (número de datos infinito).

Cuadro N° 6: Valores de μ_y , σ_y según el número de datos que presenta la muestra.

N° Datos	μ_y	σ_y	N° Datos	μ_y	σ_y
10	0.4952	0.9496	60	0.5521	1.1747
15	0.5128	1.0206	65	0.5535	1.1803
20	0.5236	1.0628	70	0.5548	1.1854
25	0.5309	1.0914	75	0.5559	1.1898
30	0.5362	1.1124	80	0.5569	1.1938
35	0.5403	1.1285	85	0.5578	1.1974
40	0.5436	1.1413	90	0.5586	1.2007
45	0.5463	1.1518	95	0.5593	1.2037
50	0.5485	1.1607	100	0.56	1.2065
55	0.5504	1.1682			

Fuente: Cálculos Estadísticos en Hidrología Javier Sánchez San Román

Cálculo de los caudales de diseño con Excel

Los caudales de diseño se hallan con la siguiente expresión:

$$Q = \beta + Y * \alpha$$

Donde:

Y: Factor de frecuencias definido por cada distribución. Es una función del nivel de Probabilidad asignado.

$$Y = (-\ln(-\ln(P)))$$

P: Probabilidad de Gumbel

$$P = 1 - \frac{1}{Tr}$$

❖ Distribución Gamma de 3 Parámetros o Pearson tipo III.

Es una de las distribuciones más utilizadas en hidrología, se dice que una variable aleatoria x, tiene una distribución Gamma o Pearson tipo III, si su función de densidad de probabilidad es:

$$f(x) = \frac{\left(\frac{x - x_0}{\alpha}\right)^{\beta-1} e^{\left(-\frac{x-x_0}{\alpha}\right)}}{\alpha^{\beta} \Gamma(\beta)}$$

Para

$$x_0 \leq x \leq \infty$$

$$-\infty \leq x_0 < \infty$$

$$0 \leq \beta < \infty$$

$$0 \leq \alpha < \infty$$

La función de distribución acumulada de la distribución Pearson tipo III es:

$$F(x) = \int_{x_0}^x \frac{\left(\frac{x-x_0}{\alpha}\right)^{\beta-1}}{\alpha^{\beta} \Gamma(\beta)} e^{-\frac{(x-x_0)}{\alpha}}$$

Donde:

$f(x)$ = Función de densidad de la variable x.

$F(x)$ = Función de distribución acumulada.

x = Variable aleatoria

x_0 = Origen de la variable x, parámetro de posición

$$x_0 = \mu - \alpha\beta$$

α = Parámetro de escala.

$$\alpha = \sigma \frac{Cs}{2}$$

β = Parámetro de forma

$$\beta = \left(\frac{2}{Cs}\right)^2$$

Cs = Coeficiente de asimetría

$$Cs = \frac{N \sum (x - \mu)^3}{(N-1)(N-2)(\sigma)^3}$$

$\Gamma(\beta)$: Función Gamma completa

μ y σ son la media y la desviación estándar de los datos respectivamente.

Para la aplicación de esta distribución, es recomendable utilizar el factor de frecuencia, de donde se muestra que la mayoría de las funciones de frecuencias pueden ser generadas por:

$$Q_P = \mu + K * \sigma$$

Donde:

Q_P = Variable aleatoria

μ = Media de la serie de datos

σ = Desviación estándar de la serie de datos.

k = Factor de frecuencias definido por cada distribución.

Para determinar el factor de frecuencia K hizo uso de la tabla presentada en el anexo 1 (Coeficiente de Foster - Ribkin), para ello es necesario contar con los valores de del coeficiente de asimetría y la probabilidad o periodo de retorno para la variable analizada.

3.2.3.2. Procesamiento de la data topográfica del tramo en estudio.

Figura N° 3: Vista Panorámica del rio Piura (Aguas abajo del puente Sánchez Cerro).



Una vez facilitada por AGRORURAL, la data topográfica de la zona de investigación (Nube de puntos, curvas de nivel, etc. del año 2017, la misma que previamente fue obtenida durante la ejecución del proyecto de Descolmatación del Cauce del rio Piura, la cual según lo investigado se obtuvo con DRONE DJI PANTHOM 4, Estación Total y GPS Diferencial), el siguiente paso fue realizar un adecuado procesamiento a dicha información, el tratamiento efectuado en esta fase fue el siguiente:

A. Asignación de un sistema de coordenadas.

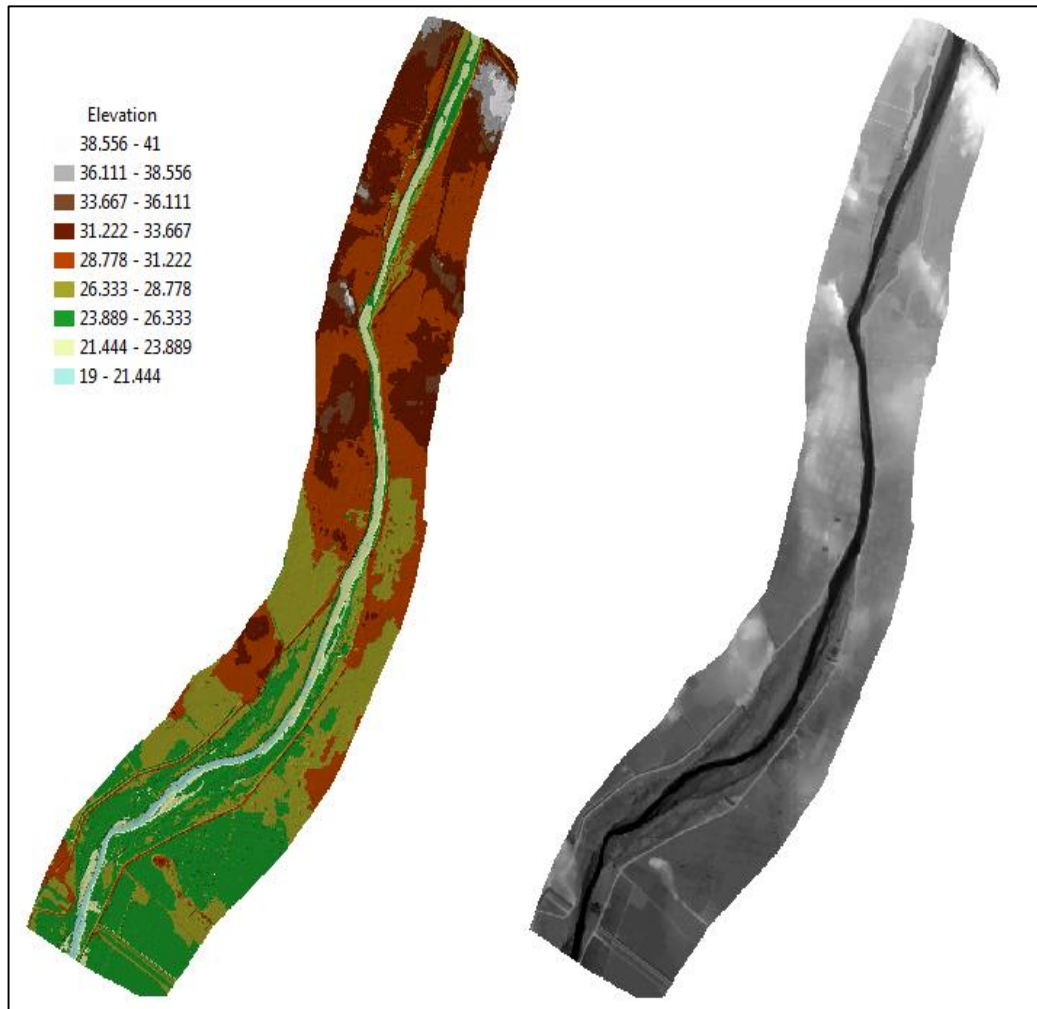
Haciendo uso del software ArcGis se asignó a toda la información obtenida, el sistema de coordenadas UTM referidas al Datum Horizontal WGS 84; tal como lo señala en el Artículo 15° del Reglamento para la Delimitación de Fajas Marginales.

B. Generación de un modelo digital del Terreno MDT.

La generación de un MDT se realizó a partir de una Red de Triángulos Irregulares (TIN), el mismo que a su vez fue generado de las curvas de nivel donde se conoce la elevación y posición respectiva (un TIN también puede ser generado de una

nube de puntos los cuales deben contar sus coordenadas y elevaciones respectivas).

Figura N° 4: Modelo digital de elevación formato TIN y Raster.



Para el Modelamiento Hidráulico realizado con el Software Iber Fue necesario realizar la conversión del MDT de formato Raster a formato ASCII (American Estándar Code for Information Interchange: Código Estándar Americano para el Intercambio de Información)

C. Trazado del eje del Rio o Talweg y determinación de la Pendiente.

Como su mismo nombre lo indica el trazado del eje o talweg del rio consiste en unir mediante una línea o polilínea los puntos de menor cota dentro del cauce del rio con la finalidad de facilitar la determinación de la pendiente del mismo.

La pendiente del cauce es una de las principales variables utilizadas en el proceso de modelación hidráulica ya que de esta variable depende el comportamiento del flujo, para su estimación existen diversas formas; la más simple tenemos la pendiente calculada a través del desnivel encontrado entre el cota inicial y cota final del tramo en estudio dividido sobre la distancia que hay entre ambos puntos; también se tiene la pendiente calculada a con ayuda de software (AutoCAD, ArcGIS).

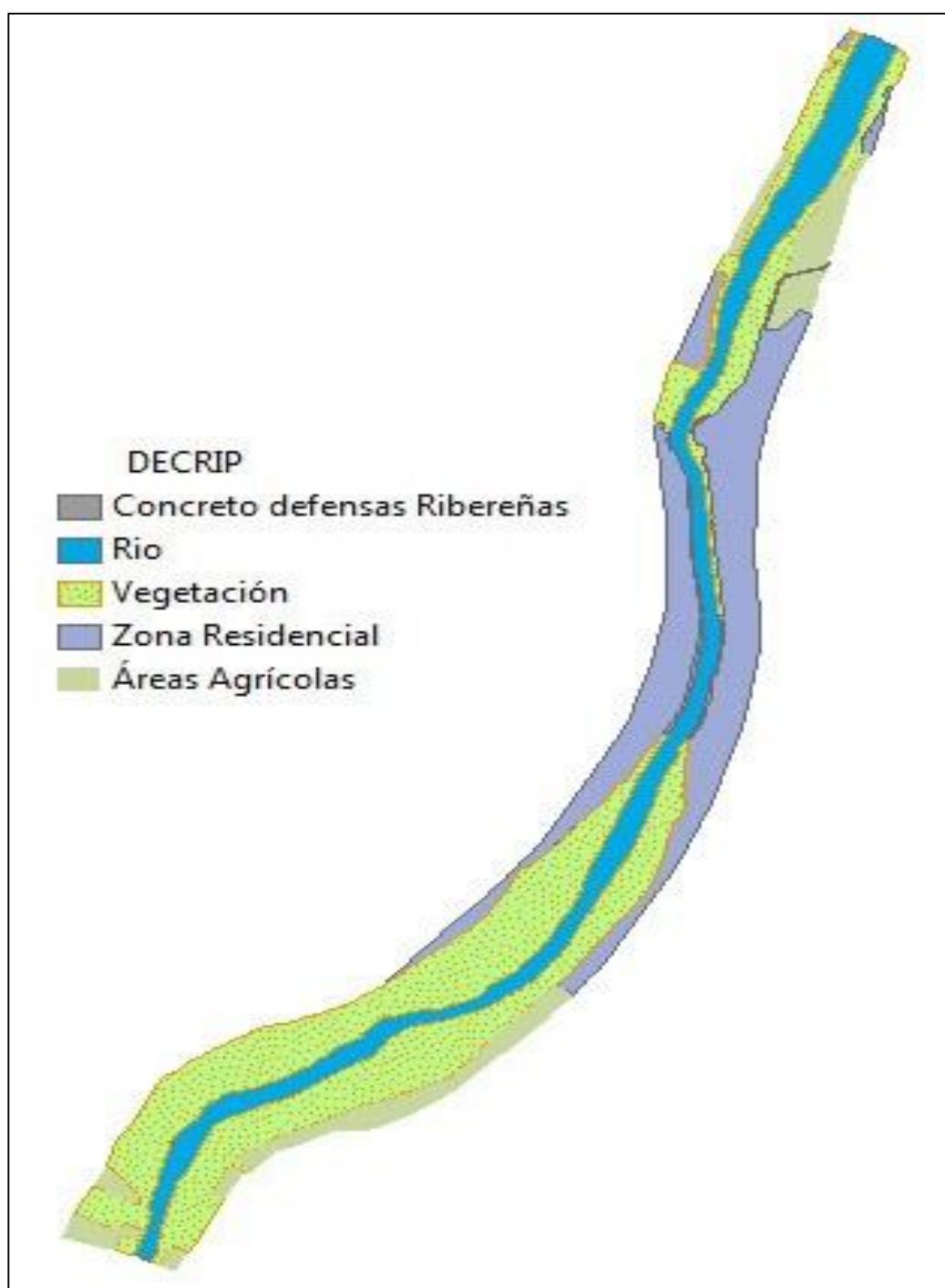
D. Creación de un Raster de Rugosidad o Mapa de Uso de suelos.

Para la facilitar la asignación automática del coeficiente de rugosidad de Manning, teniendo en cuenta el uso de suelos fue necesario la creación un raster de rugosidades en el cual se distinguen cinco zonas o subtipos:

- Río en zona con y sin presencia de agua y de escasa vegetación con un valor de rugosidad igual a 0.025.
- Concreto para zonas con presencia de infraestructura como defensas ribereñas coeficiente de rugosidad igual a 0.018.
- Boscosa para áreas con abundante presencia de vegetación (árboles y arbustos), con rugosidad igual 0.18.
- Zona Residencial, con 0.15 de rugosidad y
- Áreas Agrícolas cuyo valor de rugosidad es de 0.045.

Algunos de los valores del coeficiente de rugosidad de los subtipos antes descritos se muestran en el anexo 2.

Figura N° 5: Mapa de uso de suelos.

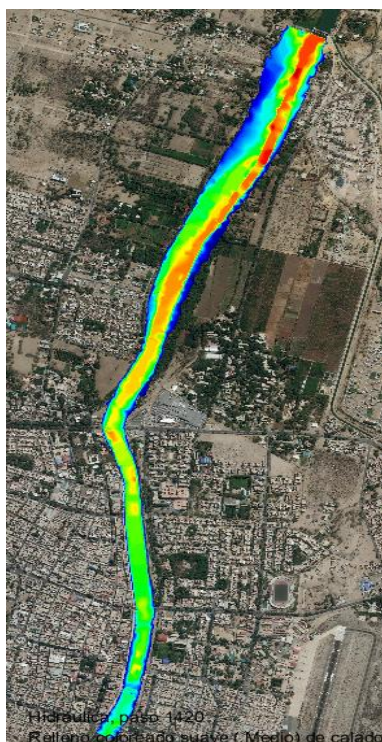


3.2.3.4. Modelamiento Hidráulico.

El Modelamiento Hidráulico fue realizado en con el software numérico Iber en dos dimensiones.

A. Modelamiento Hidráulico con Iber.

Figura N° 6: Modelamiento Hidráulico 2D con Iber.



La simulación Hidráulica de un proyecto con Iber se realiza en tres etapas; Pre-proceso, cálculo y Post-proceso, las mismas que a continuación se detallan.

❖ **Pre-proceso:** En esta etapa se ejecutan los siguientes pasos:

- Creación e importación de geometría: para este proyecto se empleó un MDT en formato ASCII.
- Ingreso de condiciones Hidrométricas: (condiciones de contorno tanto de entrada y salida del flujo y condiciones iniciales).
- Asignación del coeficiente de Rugosidad del cauce: el cual fue asignado de forma automática con datos debidamente georeferenciados, teniendo en cuenta la fisiografía del tramo en estudio.
- Construir una malla de cálculo: Iber dispone de multitud de maneras para obtener una buena malla de cálculo, en este proyecto se optó por trabajar con una malla mixta la cual fue generada al momento de importar el MDT, y teniendo en cuenta el tamaño de pixeles que presenta el modelo digital de elevación (1 metro), de esta forma el valor de la tolerancia, lado máximo y lado mínimo fue de 0.15, 10, y 1 metro respectivamente.

- Asignar opciones generales de cálculo: Tiempo de cálculo, parámetros del esquema numérico, activación de módulos adicionales; en la opción Datos > Datos del problema, se ingresa el valor del tiempo que tardara en ejecutarse el proceso de cálculo; así mismo también se fija el incremento de tiempo entre instantes de escritura de resultados, etc.
 - Lanzar el cálculo: luego de haber ejecutado correctamente los pasos anteriores nos dirigimos a la opción calcular para dar inicio al proceso de cálculo.
- ❖ **Cálculo:** Una vez puesto en marcha el proceso de cálculo en la ventana de información del proceso se puede visualizar el avance del cálculo, lo cual conveniente consultar cada cierto tiempo para detectar posibles avisos de errores.
- ❖ **Post-proceso:** Una vez finalizado el cálculo, o durante el mismo, se puede acceder al post-proceso para visualizar y analizar los resultados. Las principales opciones que se pueden ejecutar en esta etapa son:
- **Visualización de resultados:** Iber dispone de varias opciones para visualizar y analizar los resultados, personalizar los colores, las leyendas, mostrar etiquetas de valores, etc. Una opción para visualizar resultados es mediante el menú “Ventana > ver resultados”. La ventana que se abre permite acceder a los distintos grupos de resultados que se pueden visualizar en cada instante de tiempo, como áreas coloreadas, áreas coloreadas suavizadas, o vectores.
 - **Exportar resultados en formato Raster:** Iber permite exportar la mayoría de resultados en formato ASCII grid de Arc Info a través del menú “Iber_Herramientas > Resultados en Grid”. Sólo se debe seleccionar un resultado, introducir el valor de un instante de tiempo y un tamaño de celda.
- Iber crea una carpeta dentro de la carpeta del proyecto actual (carpeta Grids of results), y dentro de la misma los archivos en formato ASCII de los resultados seleccionados en el instante de tiempo más próximo al solicitado.

3.2.3.5. Delimitación de Fajas Marginales

❖ **Criterios empleados en el proceso de delimitación de Fajas Marginales:**

El criterio básico para la determinación del ancho de la faja marginal es de **Ancho variable**; el cual consiste en la determinación de un ancho de faja marginal variable, acorde a las características del cuerpo de agua y su cauce, como son: la composición, edad y condición de la vegetación ribereña, la geomorfología del tramo de cauce, las especies de animales y plantas presentes en el tramo, la hidrología de la cuenca, los usos de las tierras adyacentes y la fragilidad del ecosistema que se trata de proteger; si mismo se hizo uso del Reglamento para la Delimitación y Mantenimiento de Fajas Marginales emitido por la ANA. En el anexo 3 se presentan las dimensiones del ancho de fajas marginales según el tipo de cauce.

Los criterios utilizados para la delimitación de la faja, fueron los normativos y los determinados en los trabajos de Campo y Gabinete, siendo los de mayor importancia los siguientes puntos:

- Por su situación como áreas marginales reservadas para los servicios públicos.
- Se trató en lo posible, que el lindero de la faja marginal sea paralelo al eje del cauce en su correspondiente margen.
- Lo correspondiente a las zonas inundables, los parámetros fisiográficos que condicionen las posibles inundaciones en épocas de avenida.
- Zonas con defensa ribereña, como muros de contención y gaviones, que permitan la protección de la población y de sus viviendas.

CAPÍTULO 4: RESULTADOS

4.1. CÁLCULOS HIDROMÉTRICOS.

La data hidrométrica fue procesada en base a dos distribuciones estadísticas (Distribución Gumbel y Gamma de tres parámetros o Pearson Tipo III), cuyos parámetros correspondientes fueron descritos en el capítulo anterior.

4.1.1. Distribución Gumbel.

$$F(x) = 1 - e^{-e^{-y}}$$

Cuadro N° 7: Estimación de parámetros.

Año	x (Caudal m3/seg)	Orden (m)	x de mayor a menor	x-μ	(x-μ)2	Probabilidad Empírica
1975	272.00	1	2124.00	1565.353	2450328.861	0.03
1976	388.00	2	2010.00	1451.353	2106424.461	0.05
1977	646.00	3	1793.00	1234.353	1523626.419	0.08
1978	167.00	4	1516.00	957.353	916524.061	0.11
1979	74.00	5	1503.00	944.353	891801.893	0.13
1980	45.30	6	1062.00	503.353	253363.872	0.16
1981	568.00	7	1042.00	483.353	233629.766	0.18
1982	390.00	8	980.00	421.353	177538.040	0.21
1984	980.00	9	963.00	404.353	163501.051	0.24
1985	112.00	10	845.00	286.353	81997.830	0.26
1986	25.00	11	790.00	231.353	53524.040	0.29
1987	790.00	12	662.20	103.553	10723.148	0.32
1988	10.00	13	646.00	87.353	7630.482	0.34
1989	845.00	14	644.00	85.353	7285.072	0.37
1990	9.00	15	638.10	79.453	6312.721	0.39
1991	24.50	16	568.00	9.353	87.472	0.42
1992	1793.00	17	428.00	-130.647	17068.735	0.45
1993	1042.00	18	390.00	-168.647	28441.935	0.47
1994	1062.00	19	388.00	-170.647	29120.524	0.50
1995	87.00	20	370.00	-188.647	35587.830	0.53
1996	100.90	21	296.00	-262.647	68983.640	0.55
1997	638.10	22	272.00	-286.647	82166.714	0.58
2000	1516.00	23	199.60	-359.047	128915.013	0.61
2001	2124.00	24	171.00	-387.647	150270.482	0.63
2003	199.60	25	167.00	-391.647	153387.661	0.66
2004	14.00	26	128.00	-430.647	185457.156	0.68
2005	128.00	27	112.00	-446.647	199493.872	0.71
2006	370.00	28	100.90	-457.747	209532.653	0.74
2007	80.00	29	87.00	-471.647	222451.240	0.76
2008	2010.00	30	80.00	-478.647	229103.303	0.79
2009	963.00	31	74.00	-484.647	234883.072	0.82
2010	428.00	32	51.00	-507.647	257705.851	0.84
2011	171.00	33	45.30	-513.347	263525.521	0.87
2012	1503.00	34	25.00	-533.647	284779.514	0.89
2013	296.00	35	24.50	-534.147	285313.411	0.92
2014	51.00	36	14.00	-544.647	296640.756	0.95
2015	662.20	37	10.00	-548.647	301013.935	0.97
2016	644.00	38	9.00	-549.647	302112.230	1.00
	21228.60		21228.60		12850254.235	

Numero de datos (n) = 38

Promedio (μ)

$$\mu = \frac{\sum x}{n} = \frac{21228.60}{38} = 558.65$$

Desviación estándar (σ)

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum (x - \mu)^2}{n - 1}} = \sqrt{\frac{12850254.235}{38 - 1}} = 589.33$$

Parámetro de concentración (α)

$$\alpha = \frac{\sigma}{\sigma_y} = \frac{589.33}{1.13618} = 518.69$$

Parámetro de localización (β)

$$\beta = \mu - \mu_y \alpha = 558.65 - 0.54228 * 518.69 = 277.37$$

Los valores de μ_y , σ_y se obtienen interpolando valores del cuadro N° 06 En la cual se tiene en cuenta el número de datos que posee la muestra.

Y = Factor de frecuencias (Función del nivel de Probabilidad asignado)

$$Y = (-\ln(-\ln(P))) = -Ln\left(-Ln\left(1 - \frac{1}{100}\right)\right) = 4.60$$

El caudal se determina con la siguiente expresión.

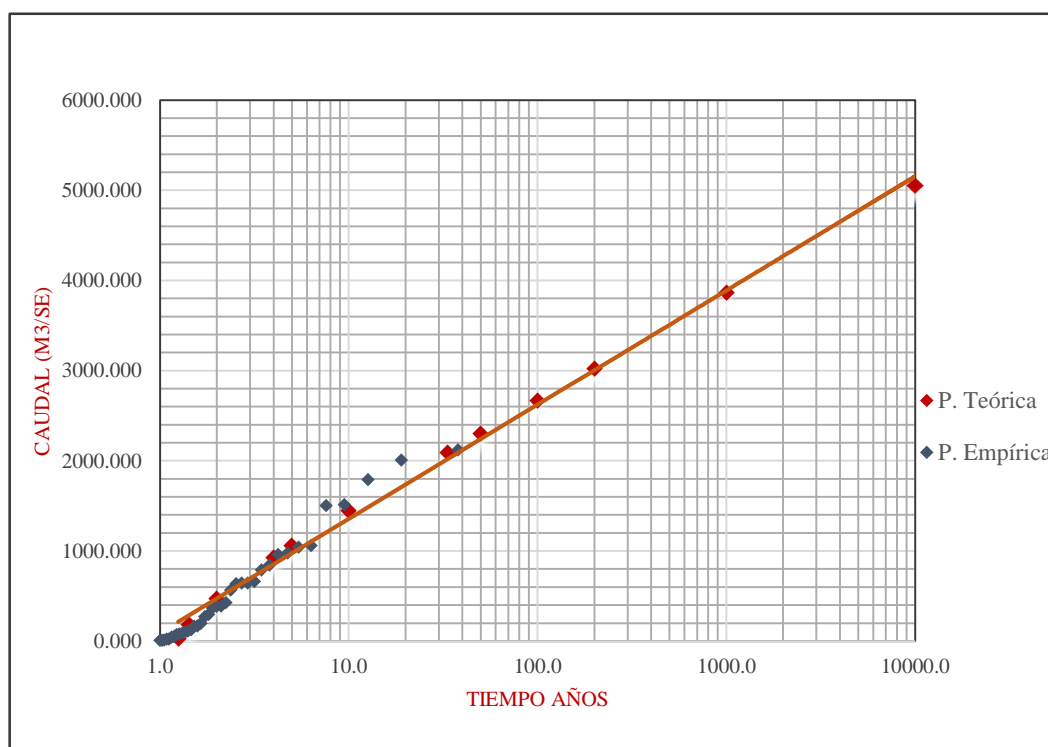
$$Q = \beta + Y * \alpha$$

En el siguiente cuadro se muestra el valor del caudal estimado para diferentes periodos de retorno.

Cuadro N° 8: Valores de caudales para diferentes Periodos de Retorno.

P	Tr	Y	Qd
%	Años		M³/Seg.
0.01	10000.0	9.210	5054.657
0.10	1000.0	6.907	3860.096
0.50	200.0	5.296	3024.257
1.00	100.0	4.600	2663.423
2.00	50.0	3.902	2301.269
3.00	33.3	3.491	2088.309
10.00	10.0	2.250	1444.615
20.00	5.0	1.500	1055.376
25.00	4.0	1.246	923.608
50.00	2.0	0.367	467.479
70.00	1.4	-0.186	181.089
80.00	1.3	-0.476	30.535
90.00	1.1	-0.834	-155.232
99.00	1.0	-1.527	-514.761
99.90	1.0	-1.933	-725.071

Gráfico N° 3: Distribución de Gumbel; Caudal vs. Periodo de Retorno.



4.1.3. Distribución Gamma de 03 parámetros o Pearson tipo III.

Función:
$$f(x) = \frac{\left(\frac{x-x_0}{\alpha}\right)^{\beta-1} e^{\left(-\frac{x-x_0}{\alpha}\right)}}{\alpha^{\beta}\Gamma(\beta)}$$

Cuadro N° 9: Estimación de los principales parámetros.

Orden	Año	x (Caudal m3/seg)	Posición	Años ordenados	x de mayor a menor	x-μ	(x-μ) ²	(x-μ) ³	Probabilidad empírica
1	1975	272.00	22	2001	2124.00	1565.35	2450328.86	3835628731.10	0.03
2	1976	388.00	19	2008	2010.00	1451.35	2106424.46	3057164684.97	0.05
3	1977	646.00	13	1992	1793.00	1234.35	1523626.42	1880692279.94	0.08
4	1978	167.00	25	2000	1516.00	957.35	916524.06	877436721.89	0.11
5	1979	74.00	31	2012	1503.00	944.35	891801.89	842175464.28	0.13
6	1980	45.30	33	1994	1062.00	503.35	253363.87	127531371.58	0.16
7	1981	568.00	16	1993	1042.00	483.35	233629.77	112925562.43	0.18
8	1982	390.00	18	1984	980.00	421.35	177538.04	74806120.42	0.21
9	1984	980.00	8	2009	963.00	404.35	163501.05	66112080.10	0.24
10	1985	112.00	27	1989	845.00	286.35	81997.83	23480294.29	0.26
11	1986	25.00	34	1987	790.00	231.35	53524.04	12382927.54	0.29
12	1987	790.00	11	2015	662.20	103.55	10723.15	1110410.14	0.32
13	1988	10.00	37	1977	646.00	87.35	7630.48	666542.70	0.34
14	1989	845.00	10	2016	644.00	85.35	7285.07	621800.04	0.37
15	1990	9.00	38	1997	638.10	79.45	6312.72	501562.27	0.39
16	1991	24.50	35	1981	568.00	9.35	87.47	818.09	0.42
17	1992	1793.00	3	2010	428.00	-130.65	17068.73	-2229985.29	0.45
18	1993	1042.00	7	1982	390.00	-168.65	28441.93	-4796657.47	0.47
19	1994	1062.00	6	1976	388.00	-170.65	29120.52	-4969340.85	0.50
20	1995	87.00	29	2006	370.00	-188.65	35587.83	-6713550.40	0.53
21	1996	100.90	28	2013	296.00	-262.65	68983.64	-18118371.55	0.55
22	1997	638.10	15	1975	272.00	-286.65	82166.71	-23552872.29	0.58
23	2000	1516.00	4	2003	199.60	-359.05	128915.01	-46286596.09	0.61
24	2001	2124.00	1	2011	171.00	-387.65	150270.48	-58251956.99	0.63
25	2003	199.60	23	1978	167.00	-391.65	153387.66	-60073873.85	0.66
26	2004	14.00	36	2005	128.00	-430.65	185457.16	-79866636.16	0.68
27	2005	128.00	26	1985	112.00	-446.65	199493.87	-89103412.82	0.71
28	2006	370.00	20	1996	100.90	-457.75	209532.65	-95913020.64	0.74
29	2007	80.00	30	1995	87.00	-471.65	222451.24	-104918542.01	0.76
30	2008	2010.00	2	2007	80.00	-478.65	229103.30	-109659693.22	0.79
31	2009	963.00	9	1979	74.00	-484.65	234883.07	-113835462.59	0.82
32	2010	428.00	17	2014	51.00	-507.65	257705.85	-130823696.92	0.84
33	2011	171.00	24	1980	45.30	-513.35	263525.52	-135280132.55	0.87
34	2012	1503.00	5	1986	25.00	-533.65	284779.51	-151971838.13	0.89
35	2013	296.00	21	1991	24.50	-534.15	285313.41	-152399407.76	0.92
36	2014	51.00	32	2004	14.00	-544.65	296640.76	-161564607.08	0.95
37	2015	662.20	12	1988	10.00	-548.65	301013.93	-165150503.23	0.97
38	2016	644.00	14	1990	9.00	-549.65	302112.23	-166055191.97	1.00
		21228.60					549.65	9031702021.92	

x = Caudal máximo instantáneo, μ = promedio de los datos analizados

Numero de datos (n) = 38

Promedio (μ)

$$\mu = \frac{\sum x}{n} = \frac{21228.60}{38} = 558.65$$

Desviación estándar (σ)

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum (x - \mu)^2}{n - 1}} = \sqrt{\frac{12850254.235}{38 - 1}} = 589.33$$

Coefficiente de asimetría

$$Cs = \frac{N \sum (x - \mu)^3}{(N - 1)(N - 2)(\sigma)^3} = \frac{38 * 9031702021.92}{(38 - 1)(38 - 2)(589.33)^3} = 1.26$$

$$\sum (x - \mu)^3 = 9031702021.92$$

K = Factor de frecuencias definido por cada distribución.

Una vez calculado el coeficiente de asimetría, el factor K fue obtenido interpolando valores de anexo N° 1 (Coeficientes de Foster – Ribkin) para diferentes probabilidades o periodo de retorno.

Finalmente, el caudal correspondiente a diferentes periodos de retorno se determinó con la siguiente: expresión.

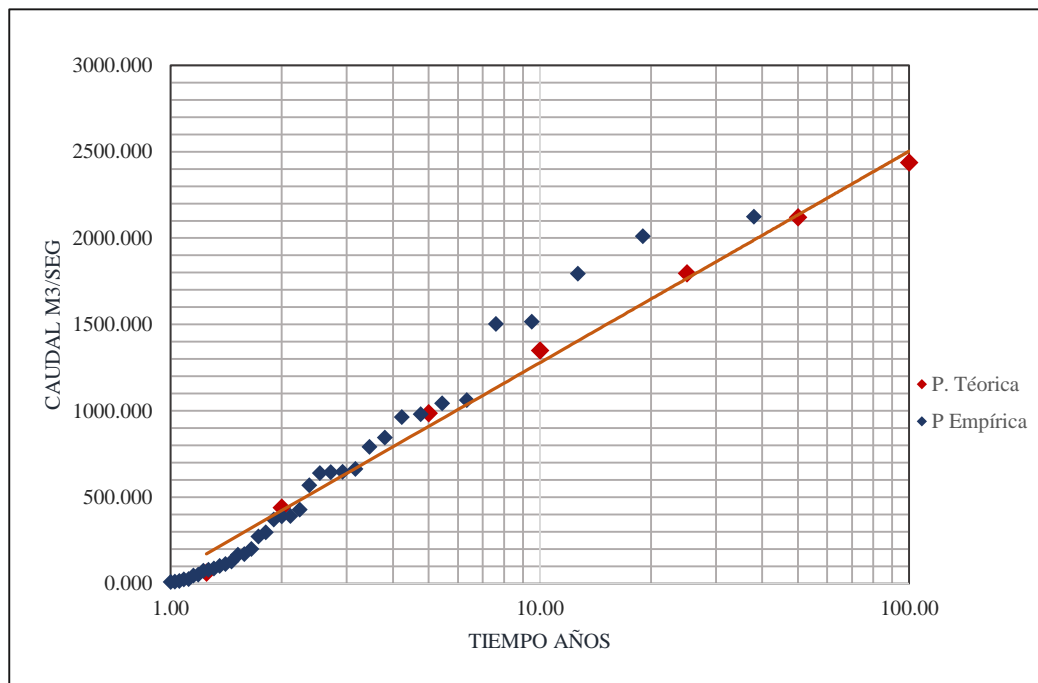
$$Q_P = \mu + K * \sigma$$

En el siguiente cuadro se muestra los valores de K y el caudal estimado Q_P

Cuadro N° 10: Valores de caudales para diferentes Periodos de Retorno.

P %	TR (años)	Tp o K	Qp (m3/seg)
1	100.00	3.185	2435.599
2	50.00	2.650	2120.095
4	25.00	2.099	1795.682
10	10.00	1.339	1347.823
20	5.00	0.724	985.349
50	2.00	-0.204	438.524
80	1.25	-0.840	63.339
99	1.01	-1.410	-272.557

Gráfico N° 4: Distribución Pearson Tipo III; Caudal vs. Periodo de Retorno.

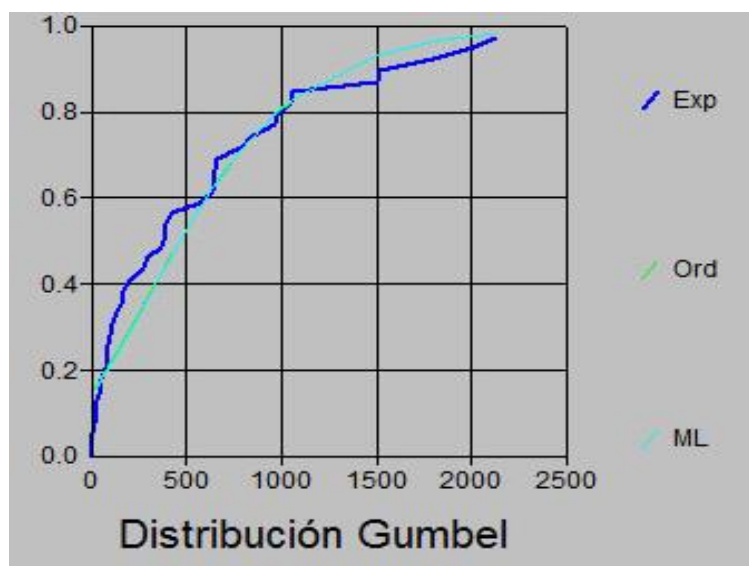


4.1.4. Pruebas de bondad y ajuste.

Las pruebas de ajuste empleadas fueron ejecutadas con el software HidroEsta: el cual trabaja con el test de ajuste **Smirnov Kolmogorov**.

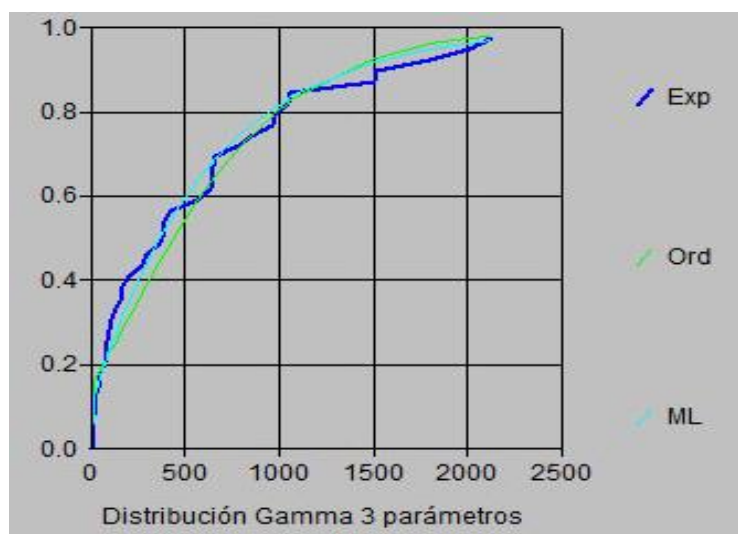
4.1.4.1. Distribución Gumbel.

Figura N° 7: Gráfico de ajuste de la Distribución Gumbel.



4.1.4.2. Distribución Gamma de Tres Parametros o Pearson Tipo III.

Figura N° 8: Ajuste de la Distribución Pearson tipo III.



4.1.5. Caudales estimados con el software Hyfran.

4.1.5.1. Distribución Gumbel.

Figura N° 9: Visualización de resultados.

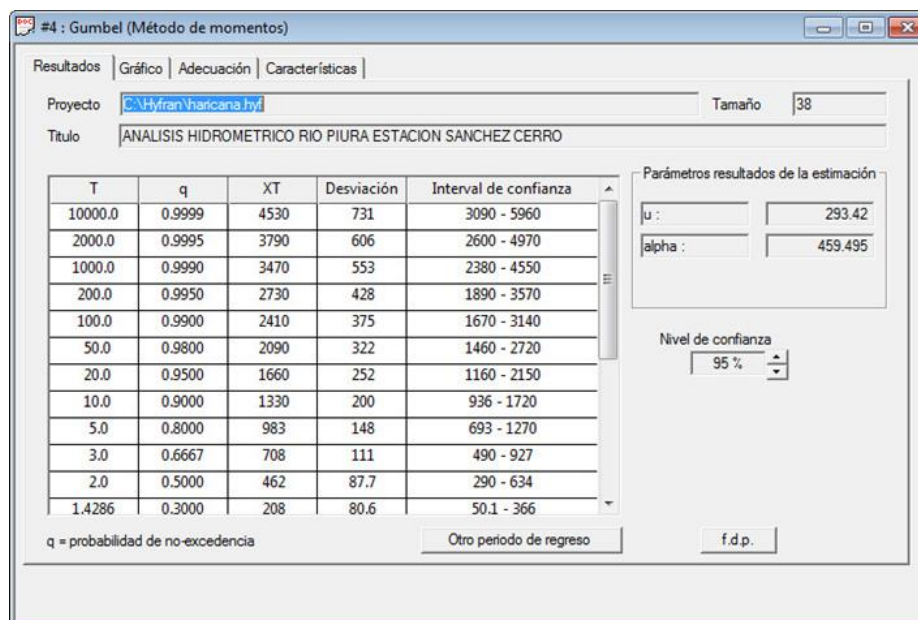
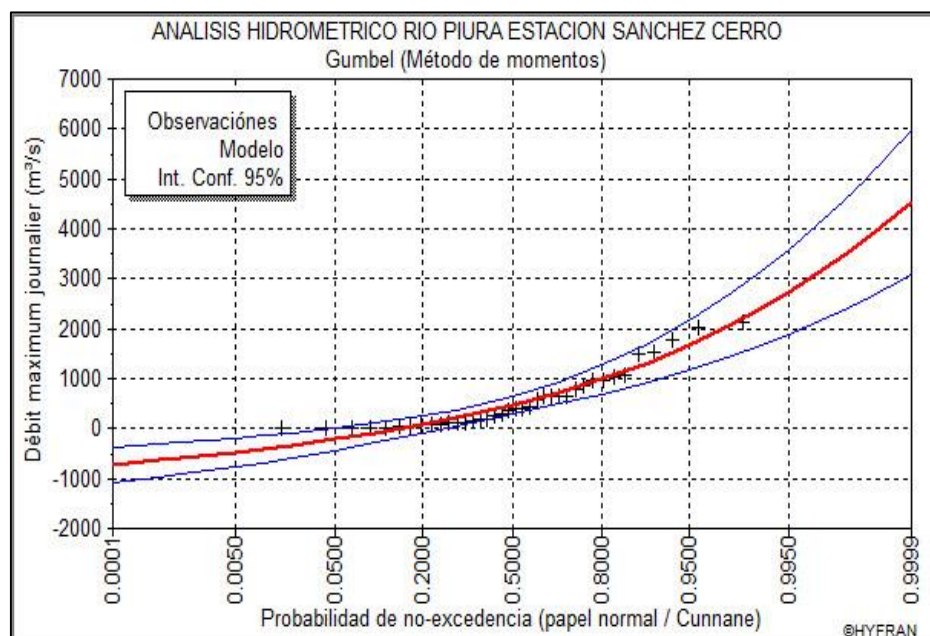


Figura N° 10: Grafica de la distribución Gumbel



4.1.5.1. Distribución Gamma de Tres Parámetros o Pearson Tipo III.

Figura N° 11: Visualización de resultados.

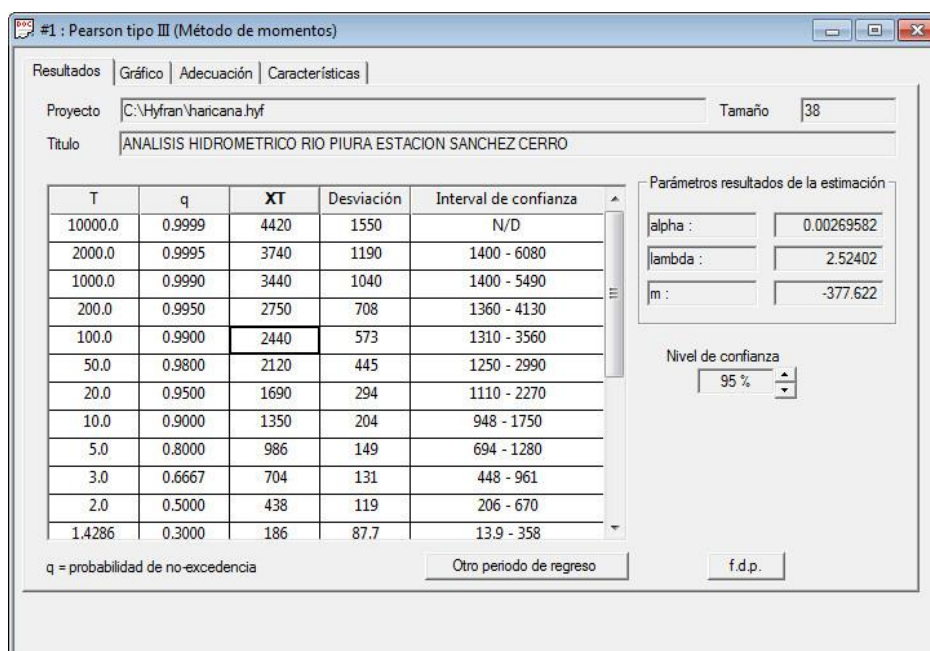
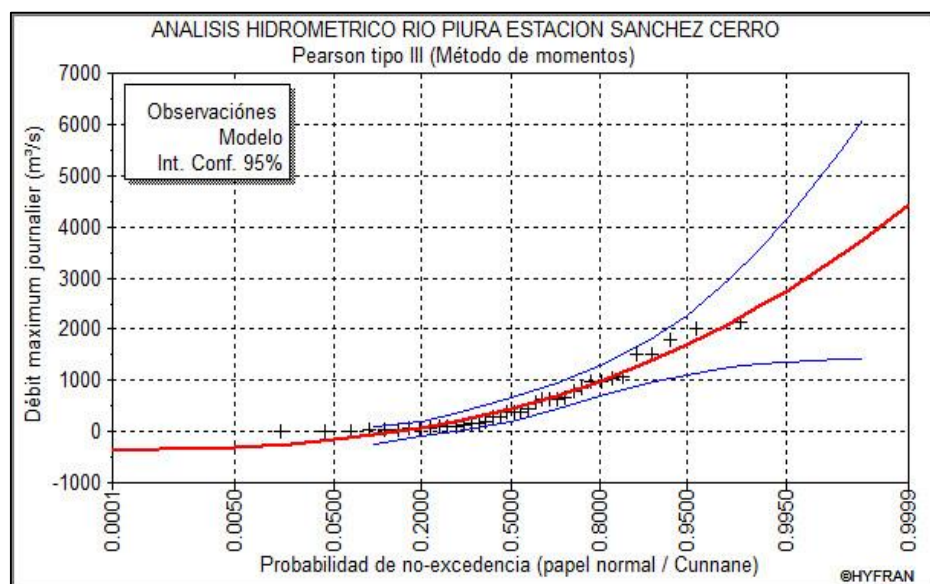


Figura N° 12: : Grafica de la distribución Pearson Tipo III.



Luego de haber ejecutado la estimación de caudales con los métodos estadísticos y software antes descritos; a raíz de un análisis y comparación de resultados obtenidos; se optó por trabajar con el método de Pearson tipo III debido a que presenta un mejor ajuste.

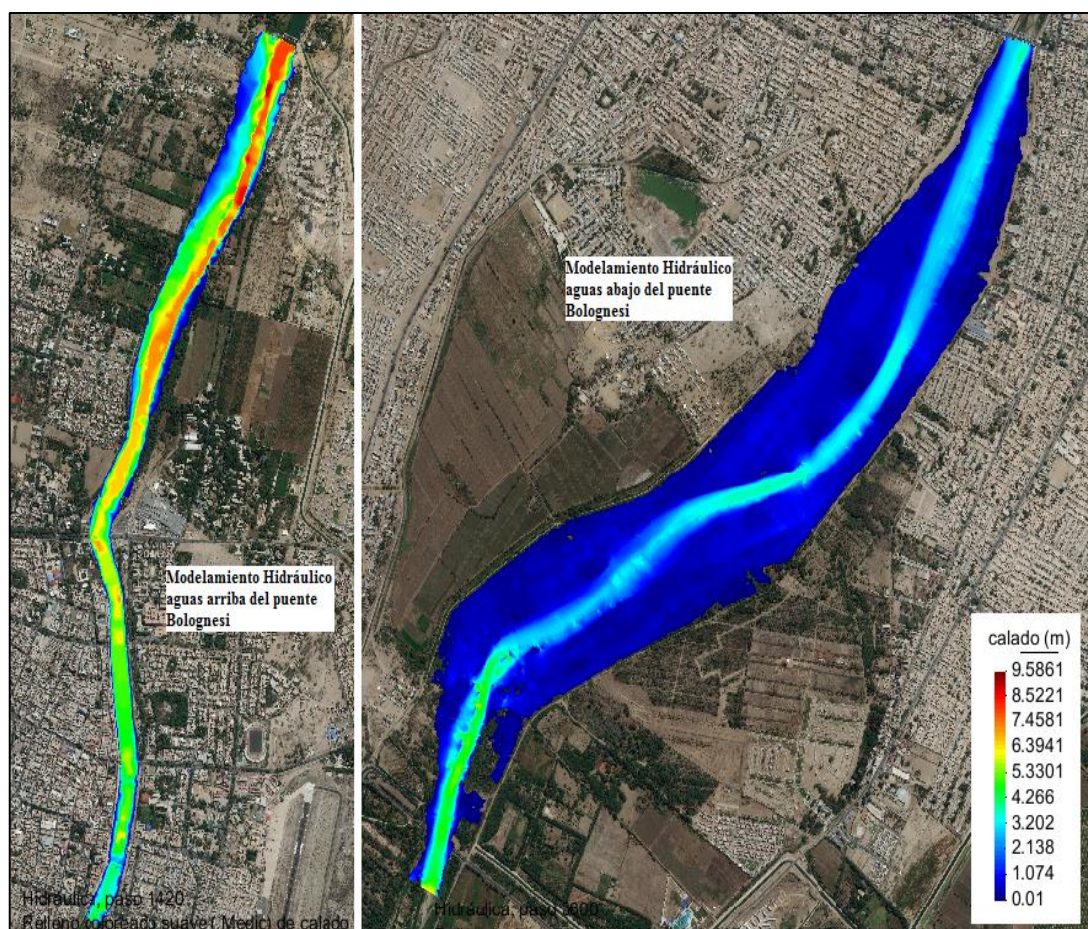
4.2. MODELAMIENTO HIDRÁULICO.

Los cálculos están orientados a flujo bidimensional, para flujo estacionario gradualmente variado y para régimen mixto (subcrítico y supercrítico).

Dada la longitud o dimensiones del cauce en estudio, las mismas que representan un tramo relativamente amplio, fue necesario dividir dicho tramo en dos partes, lo cual facilita el cómputo y procesamiento hidráulico e incluso permite obtener resultados con una mayor precisión.

A modo de referencia, en la figura N° 13 se muestran los resultados del cálculo de alcance de desbordamiento, obtenido en la simulación del tramo en estudio frente a las máximas avenidas para un período de retorno de 100 años.

Figura N° 13: Visualización del modelamiento hidráulico obtenidos con el software Iber.



4.2.1. Identificación de puntos críticos.

Luego de ejecutado el modelamiento hidráulico y con ayuda de la información de campo obtenida durante las visitas a la zona de estudio, se identificaron diferentes puntos críticos, en el siguiente cuadro se detallan algunos de ellos:

Cuadro N° 11: Descripción de los principales puntos críticos.

Punto crítico	Progresivas	Margen	Descripción
Presa Ejidos	De 0+040 hasta 0+100	Derecha	Aguas abajo del aliviadero de demasías de la Presa Ejidos se observa invasión de Fajas Marginales y un alto nivel de erosión de margen.
Urbanización Cocos del Chipe	De 2+260 hasta 2+390	Derecha	Faja Marginal totalmente invadida colapso de defensas ribereñas.
Puente Cáceres	Desde 2+787 hasta 3+280	Derecha	Aguas arriba del puente se observa edificio en proceso constructivo sobre las faja marginal; y aguas abajo del puente Cáceres se aprecia fajas marginales invadidas y deterioro de estructuras de defensas ribereñas.
Puente Cáceres	Desde 2+670 hasta 3+170	Izquierda	En esta zona se observa el cauce altamente estrangulado y fajas marginales total y parcialmente invadidas, debido la mala ubicación del estribo Izquierdo del puente y la presencia centros un comercial, grifo, talleres, etc. Sobre las fajas marginales respectivamente.
Puente San Miguel	Desde 4+550 hasta 4+590	Izquierda	Ubicación de restaurante sobre la faja marginal y parte del cauce del río.

4.3. DELIMITACION DE FAJAS MARGINALES.

Teniendo en cuenta los criterios mencionados anteriormente, se realizó la delimitación de la faja marginal, cuyo dimensionamiento se muestra en el anexo N° 3 en el cual contiene código del Hito, Margen, coordenadas UTM.

Cuadro N° 12: Ubicación de Hitos propuestos y el ancho de la faja marginal.

Datos Georreferenciados UTM WGS-84 Zona 17 Sur.							
Punto	Margen izquierda.		Ancho (m)	Punto	Margen izquierda		Ancho (m)
	Este	Norte			Este	Norte	
0	542704.95	9429691.44	15	25	541746.00	9425722.93	8
1	542683.39	9429569.40	15	26	541723.88	9425593.50	7
2	542622.85	9429396.92	18	27	541709.96	9425501.62	12
3	542529.90	9429140.90	25	28	541686.16	9425393.70	9
4	542427.61	9428885.07	23	29	541663.07	9425288.42	9
5	542304.74	9428633.21	32	30	541630.00	9425189.34	9
6	542176.76	9428416.14	22	31	541590.00	9425130.28	7
7	542054.66	9428167.64	27	32	541571.94	9425084.37	10
8	541984.53	9427905.68	49	33	541558.26	9425013.04	12
9	541921.83	9427648.95	31	34	541545.07	9424851.69	22
10	541893.15	9427543.90	47	35	541530.10	9424652.39	42
11	541852.37	9427450.48	48	36	541453.60	9424425.33	30
12	541732.53	9427295.10	25	37	541379.43	9424166.69	36
13	541656.58	9427216.74	20	38	541143.00	9423840.75	24
14	541620.66	9427181.25	17	39	540810.28	9423433.36	26
15	541610.03	9427159.72	16	40	540489.57	9423086.38	26
16	541605.26	9427140.54	17	41	540272.00	9422867.83	35
17	541603.44	9427085.19	23	42	539943.29	9422732.11	30
18	541637.44	9426957.44	15	43	539600.46	9422578.36	20
19	541674.42	9426766.85	10	44	539382.62	9422472.04	24
20	541690.70	9426519.51	13	45	539193.79	9422374.72	24
21	541712.84	9426323.60	12	46	539112.37	9422245.90	37
22	541731.54	9426148.03	15	47	538980.98	9421998.20	24
23	541756.52	9425940.48	13	48	538866.00	9421779.31	29
24	541760.24	9425872.59	9				

Cuadro N° 13: Ubicación de Hitos propuestos y el ancho de la faja marginal.

Datos Georreferenciados UTM WGS-84 Zona 17 Sur.							
Punto	Margen derecha		Ancho (m)	Punto	Margen derecha		Ancho (m)
	Este	Norte			Este	Norte	
0	542468.3311	9429783.124	21	25	541592.6055	9425617.178	9
1	542405.5927	9429673.174	16	26	541576.8999	9425528.004	10
2	542326.9632	9429500.97	17	27	541558.5819	9425418.82	10
3	542245.3469	9429255.897	30	28	541535.7603	9425329.666	7
4	542142.6269	9429025.537	28	29	541496.1401	9425248.984	7
5	542020.4622	9428774.597	25	30	541448.124	9425181.356	11
6	541909.5957	9428535.291	17	31	541419.8432	9425128.908	12
7	541783.7923	9428250.937	15	32	541387.4453	9425069.051	9
8	541681.8985	9427943.999	21	33	541302.5691	9424922.695	13
9	541671.9225	9427698.069	12	34	541217.1694	9424773.823	15
10	541651.9919	9427625.723	16	35	541095.99	9424615.998	27
11	541614.4103	9427540.121	20	36	540957.2125	9424489.01	27
12	541527.9725	9427409.057	30	37	540705.594	9424235.618	35
13	541459.7435	9427276.222	21	38	540384.7497	9423826.23	40
14	541444.825	9427217.56	22	39	540116.2521	9423583.859	38
15	541440.5153	9427165.966	15	40	539897.4111	9423397.615	25
16	541450.6187	9427081.162	7	41	539692.5465	9423266.971	22
17	541512.6506	9426927.299	7	42	539289.0161	9423154.442	38
18	541565.546	9426748.784	8	43	539052.6793	9422991.195	17
19	541571.6901	9426521.442	5	44	538787.8811	9422807.369	34
20	541584.8177	9426320.44	5	45	538727.9513	9422669.01	31
21	541606.612	9426132.591	5	46	538672.4161	9422512.792	34
22	541627.413	9425943.957	6	47	538668.7371	9422354.374	38
23	541626.4047	9425874.928	7	48	538657.2787	9422105.014	50
24	541615.1895	9425739.297	7	49	538612.8877	9421964.33	50

CONCLUSIONES.

- ❖ Para el desarrollo de este proyecto fue necesario contar con información topográfica detallada del área en estudio, nube de puntos, curvas de nivel 0.50 metros de equidistancia, imágenes satelitales de alta resolución, producto de la investigación, lo que permitió identificar diferentes obstrucciones presentes en el cauce, y obtener resultados que mejor se asemejan a la realidad. Con lo cual podemos inferir que contar con información topográfica real y a detalle del área de estudio, conlleva obtener resultados de mayor precisión y confiabilidad.
- ❖ En cuanto a la evaluación de las características geomorfológicas, e hidráulicas del río Piura en el tramo Presa Ejidos puente Miguel Grau. Nuestra atención estuvo más enfocada en las condiciones hidráulicas; tales como la reducción de la caja hidráulica del río, a causa del alto nivel de estrangulamiento, presente sobre todo en el tramo urbano, y la rugosidad o coeficiente de Manning cuyos valores de esta última son diferentes en diversas zonas del cauce en estudio (con valores de 0.018 en zonas con presencia de estructuras de concreto hasta 0.18 en áreas copadas por vegetación), para facilitar este proceso se optó por subdividir el área en polígonos irregulares correspondientes a cada material presente (río, vegetación, defensas de concreto, residencial, etc.).
- ❖ Con la ejecución del modelamiento Hidráulico, se logró identificar las principales zonas o puntos críticos propensos a sufrir erosiones, o ser inundados, en caso de presentarse máximas avenidas cuyo caudal supere los 2440 m³/seg; de igual manera se pudo apreciar algunas zonas en las cuales el cauce se encuentra estrangulado, con sus fajas marginales parcial o totalmente ocupadas, tales como:
 - **Margen derecha.**
 - Presa ejidos erosión de margen.
 - Urbanización Cocos del Chipe.
 - Puente Cáceres construcción sobre la faja marginal.
 - **Margen Izquierda.**
 - Puente Cáceres: estrangulamiento del cauce y fajas marginales ocupadas.
 - Puente San Miguel: construcción de local comercial sobre el cauce del río, etc.

- ❖ La determinación de los límites las fajas marginales y del ancho mínimo de la mismas, se optó por el criterio de ancho variable, obteniéndose valores que varían ente 5 y 50 metros, para su estimación se tuvieron en cuenta algunas características geológicas de las riberas del cauce, la presencia de vegetación, y la presencia de defensas ribereñas, sobre las cuales se definieron los límites de las fajas marginales.

RECOMENDACIONES.

- ❖ investigar y analizar a través del Organismo de Formalización de Propiedad Informal (COFOPRI) y otras instituciones responsables como es el caso de las municipalidades, Autoridad Administrativa del Agua AAA., etc. la situación de los predios que están comprendidos dentro de la faja marginal y que se encuentran inscritos a cuya información no se tuvo acceso.
- ❖ Revisar las autorizaciones de ocupación de áreas sobre las Fajas Marginales y erradicar a los negocios existentes como el de las cubicherías en pleno río en caso de que estas hayan sido otorgadas.
- ❖ Promover y desarrollar de actividades monitoreo y fiscalización de las fajas marginales para evitar posibles invasiones de las mismas.
- ❖ Desarrollar e intensificar actividades educativas de concientización; para que la población conozca la importancia de las Fajas Marginales.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS.

- AUTORIDAD AUTÓNOMA CUENCA HIDROGRÁFICA CHIRA - PIURA COMITÉ INTERINSTITUCIONAL. (2007), Plan de Defensas Ribereñas y Encauzamiento de Ríos.
- AYALA NIÑO JORGE (2014) Modelamiento Hidráulico Bidimensional para la determinación de planos de inundación de Quillacollo (Cochabamba - Bolivia).
- BLADÉ. E., CEA L., CORESTEIN G., ESCOLANO E., PUERTAS J., VÁZQUEZ-CENDÓN, M.E., DOLZ, J., COLL, A. (2014). Manual de referencia hidráulico Software Iber.
- BOE.es (2016) Reglamento de Dominio Público Hidráulico que Desarrolla los Titulos Preliminares V, VI, y VII de la Ley 29/1985, de 02 de agosto, de Aguas. - España.
- BOTERO (s.f.), La cuenca hidrográfica y el desarrollo regional. División de recursos forestales. Organización de las Naciones Unidas para la agricultura y la alimentación. Primer Congreso Nacional de Cuencas Hidrográficas. Medellín, Colombia. 1982.
- CEREN – PNUD. (octubre de 2000). Estudio para el Tratamiento Integral del Río Piura.
- CERES.educ.es (2012 -2013) Manual Básico de Usuario: Curo Iber - España
- CHEREQUE MORAN WENDOR (s.f.). Hidrología Pontificia Universidad Católica del Perú.
- Decreto Supremo N° 001-2010-AG (2010), Reglamento de la Ley de Recursos Hídricos.
- GÁMEZ MORALES WILLIAM R. (2009) Texto Básico de Hidrología (1ª Edición) Managua – Nicaragua.
- GONZÁLEZ VERDUGO JOSÉ A. PEÑALOZA RUEDA XÓCHITL. (2015) Estudio de “Delimitación de riberas de ríos y arroyos” Instituto Mexicano de Tecnología del Agua.
- GONZÁLEZ DEL TÁNAGO MARTA: (s.f.). Tema 10: Régimen de caudales; Unidad docente de Hidráulica e Hidrología Departamento de ingeniería forestal E.T.S. de Ingenieros de Montes Universidad Politécnica de Madrid.

- GUTIÉRREZ HUAMÁN NELLY (2013). Delimitación de la Cabecera de Cuenca del Río Piura Tesis de Master en Ingeniería Civil con Mención en Recursos Hídricos. Universidad de Piura.
- HERNÁNDEZ ASTO LUIS MIGUEL (2016). Curso de Sistemas de Información Geográfica y Análisis Espacial (Instituto Científico del Pacífico) - Lima.
- HOORELBEKE ROBERT, CORTEZ JOSÉ, CARRASCO LUIS M. (s.f.), Regímenes hidrológicos de la cuenca Amazónica de Bolivia.
- IBÁÑEZ S., MORENO H., “Y” GISBERT J., (s.f.), Morfología de las cuencas hidrográficas Universidad Politécnica de Valencia.
- INSTITUTO NACIONAL DE ESTADÍSTICA Y GEOGRAFÍA INEGI (2014) Sistema de Información Geográfica.
- JAIMES RICHARD MIGUEL. TITULAR DE LA AUTORIDAD LOCAL DEL AGUA AYACUCHO (2014). (Diario el Correo Ayacucho 27 de enero - Elmer Flores).
- Ley N° 29338 (2009). Ley de Recursos Hídricos.
- MARBELLO PÉREZ RAMIRO (2013) Manual de prácticas de laboratorio de hidráulica.
- MINISTERIO DE AGRICULTURA Y RIEGO (Estudio de Delimitación de la Faja Marginal del río Majes Camaná del “Proyecto Instalación Implementación de Medidas de Prevención para el control de desborde e inundaciones del río Majes Camaná Departamento de Arequipa”.
- MINISTERIO DE TRANSPORTES Y COMUNICACIONES MTC. (2011) Manual de Hidrología, Hidráulica y Drenaje
- PALOMINO CUYA DALY GRACE. (2004) Zonificación de Áreas Inundables utilizando un Sistema de Información Geográfica. Aplicado al tramo final del río Chillón. (IMEFEN – Facultad de Ingeniería Civil – Universidad Nacional de Ingeniería).
- PÉREZ GÓMEZ, URIEL (1998). Fundamentos de un Sistema de Información Geográfica. CIAF. Instituto Geográfico Agustín Codazzi. Serie 1 Docencia.

- SIG. INGENIEROS SAC. (2013) Reformulación del Plan de Desarrollo Urbano de Piura, Veintiséis de Octubre, Castilla y Catacaos al 2032.
- SINAGERD. [s.a.] Ley N. ° 29664, del Sistema Nacional de Gestión del Riesgo de Desastres
- RAMÍREZ GONZÁLEZ, ALDO Ernesto (2015). Propuesta para la delimitación de Fajas Marginales de los Ríos, Sustentado en la Zonificación Económica Ecológica (1er CONGRESO IBEROAMERICANO SOBRE SEDIMENTOS Y ECOLOGÍA.)
- RAMOS RAIPE, CAYO LEÓNIDAS (2005). Manual de Entrenamiento con HEC-RAS. Universidad Nacional Agraria La Molina.
- Resolución Jefatural N° 332 (2016). ANA. Reglamento para la Delimitación y Mantenimiento de Fajas Marginales.
- ROMERO, FABIÁN I. Y OTROS (2014). “Zonas ribereñas: protección, restauración y contexto legal en Chile”. Revista Bosque, No. 35(1): 3-12. Facultad de Ciencias Forestales y Recursos Naturales de la Universidad Austral de Chile.
- RONCAL MUJICA MÓNICA (s.f) Universidad Privada del Norte cursos de Hidrología General
- VEN TE CHOW, DAVID R. MAIDMENT, LARRY W. MAYS. (s.f.). Hidrologia Aplicada. Derechos Reservados. Copyright ©1994, por McGRAW-HILLINTERAMERICANA, S.A. Transversal 42B N° 19-77. Santa Fe de Bogota.

ANEXOS.

Anexo N° 1: Valores del coeficiente de Foster – Rinkin.

Coeficiente de Foster - Ribkin								
Coeficiente de Asimetría	Periodo de Retorno en Años							
	1.0101	1.2500	2	5	10	25	50	100
	Nivel de Probabilidad (%)							
	99	80	50	20	10	4	2	1
3.0	-0.667	-0.636	-0.396	0.420	1.180	2.278	3.152	4.051
2.8	-0.714	-0.666	-0.384	0.460	1.210	2.275	3.114	3.973
2.6	-0.769	-0.696	-0.368	0.499	1.238	2.267	3.071	3.889
2.4	-0.832	-0.725	-0.351	0.537	1.262	2.256	3.023	3.800
2.2	-0.905	-0.752	-0.330	0.574	1.284	2.240	2.970	3.705
2.0	-0.990	-0.777	-0.307	0.609	1.302	2.219	2.912	3.605
1.8	-1.087	-0.799	-0.282	0.643	1.318	2.193	2.848	3.499
1.6	-1.197	-0.817	-0.254	0.675	1.329	2.163	2.780	3.388
1.4	-1.318	-0.832	-0.225	0.705	1.337	2.128	2.706	3.271
1.2	-1.449	-0.844	-0.195	0.732	1.340	2.087	2.626	3.149
1.0	-1.588	-0.852	-0.164	0.758	1.340	2.043	2.542	3.022
0.8	-1.733	-0.856	-0.132	0.780	1.336	1.993	2.453	2.891
0.6	-1.880	-0.857	-0.099	0.800	1.328	1.939	2.359	2.755
0.4	-2.029	-0.855	-0.066	0.816	1.317	1.880	2.261	2.615
0.2	-2.178	-0.850	-0.033	0.830	1.301	1.818	2.159	2.472
0.0	-2.326	-0.842	0.000	0.842	1.282	1.751	2.054	2.326
-0.2	-2.472	-0.830	0.033	0.850	1.258	1.680	1.945	2.178
-0.4	-2.615	-0.816	0.066	0.855	1.231	1.606	1.834	2.029
-0.6	-2.755	-0.800	0.099	0.857	1.200	1.528	1.720	1.880
-0.8	-2.891	-0.780	0.132	0.856	1.166	1.448	1.606	1.733
-1.0	-3.022	-0.758	0.164	0.852	1.128	1.366	1.492	1.588
-1.2	-3.149	-0.732	0.195	0.844	1.086	1.282	1.379	1.449
-1.4	-3.271	-0.705	0.225	0.832	1.041	1.198	1.270	1.318
-1.6	-3.388	-0.675	0.254	0.817	0.994	1.116	1.166	1.197
-1.8	-3.499	-0.643	0.282	0.799	0.945	1.035	1.069	1.087
-2.0	-3.605	-0.609	0.307	0.777	0.895	0.959	0.980	0.990
-2.2	-3.705	-0.574	0.330	0.752	0.844	0.888	0.900	0.905
-2.4	-3.800	-0.537	0.351	0.725	0.795	0.823	0.830	0.832
-2.6	-3.889	-0.499	0.368	0.696	0.747	0.764	0.768	0.769
-2.8	-3.973	-0.460	0.384	0.666	0.702	0.712	0.714	0.714
-3.0	-4.051	-0.420	0.396	0.636	0.660	0.666	0.666	0.667

Fuente: Wendor Chereque Morán

Anexo N° 2: Coeficientes de rugosidad "n " de Manning típicos.

Tipo de Cauce y Descripción	Valor de "n"		
	Mínimo	Normal	Máximo
D. Cauces naturales menores (ancho superior, a nivel de crecida, menor que 30 m)			
D1) Cauces en planicie			
1) Limpio, recto, nivel lleno, sin fallas o pozos profundos	0.025	0.030	0.033
2) Igual que arriba pero más piedras y pastos	0.030	0.035	0.040
3) Limpio, curvado, algunos pozos y bancos	0.033	0.040	0.045
4) Igual que arriba pero algunos pastos y piedras	0.035	0.045	0.050
5) Igual que arriba, niveles más bajos, pendiente y secciones más inefectivas	0.040	0.048	0.055
6) Igual que 4, pero más piedras	0.045	0.050	0.060
7) Tramos sucios, con pastos y pozos profundos	0.050	0.070	0.080
8) Tramos con muchos pastos, pozos profundos o recorrido de la crecida con mucha madera o arbustos bajos	0.075	0.100	0.150
D2) Cauces de montaña, sin vegetación en el canal, laderas con pendientes usualmente pronunciadas, árboles y arbustos a lo largo de las laderas y sumergidos para niveles altos			
1) Fondo: grava, cantos rodado y algunas rocas	0.030	0.040	0.050
2) Cantos rodado y algunas rocas	0.040	0.050	0.070
E) Cauces con planicie de crecidas			
1). Pastos sin arbustos			
• Pastos cortos	0.025	0.300	0.035
• Pastos altos	0.030	0.035	0.050
2) Áreas cultivadas			
• Sin cultivo	0.020	0.030	0.040
• Cultivos maduros alineados	0.025	0.035	0.045
• Campo de cultivos maduros	0.030	0.040	0.050
3) Arbustos			
• Arbustos escasos, muchos pastos	0.035	0.050	0.070
• Pequeños arbustos y árboles, en invierno	0.035	0.050	0.060
• Pequeños arbustos y árboles, en verano	0.040	0.060	0.080
• Arbustos medianos a densos, en invierno	0.045	0.070	0.110
• Arbustos medianos a densos, en verano	0.070	0.100	0.160
4) Arboles			
• Sauces densos, en verano y rectos	0.110	0.150	0.200
• Tierra clara con ramas, sin brotes	0.030	0.040	0.050
• Igual que arriba pero con gran crecimiento de brotes	0.050	0.060	0.080
• Grupos grandes de madera, algunos árboles caídos, poco crecimiento inferior y nivel de la inundación por debajo de las ramas	0.080	0.100	0.120
• Igual que arriba, pero con el nivel de inundación alcanzando las ramas	0.100	0.120	0.160

F) Cursos de agua importantes (Ancho superior, a nivel de inundación, mayor que 30 m). Los valores de n son menores que los de los cursos menores de descripción similar, ya que los bancos ofrecen menor resistencia efectiva.			
1) Sección regular sin rocas y arbustos	0.025		0.060
2j_ Sección irregular y áspera	0.035		0.100

Fuente: Show (1994)

Anexo N° 3: Ancho mínimo de fajas marginales.

Ancho mínimo de fajas Marginales según el tipo de cauce	
Tipo de fuente	Ancho mínimo (m)
Quebradas y tramos de ríos de alta pendiente (mayores a 2%) encañonados de material rocoso.	3
Quebradas y tramos de ríos de alta pendiente (mayores a 2%) material conglomerado.	4
Tramos de ríos con pendiente media (1 a 2%)	5
Quebradas y tramos de ríos con bajas pendiente (menores a 1%) y presencia de defensas vivas.	6
Quebradas y tramos de ríos con bajas pendiente (menores a 1%) y riberas desprotegidas.	10
Tramos de ríos con estructuras de defensas ribereñas (gaviones, diques, enrocados, muros, etc.), medidos a partir del pie del talud externo.	4
Tramos de ríos de selva con baja pendiente (menores a 1%)	25
Lagos y lagunas	10
Reservorios o embalses (cota de vertedero de demasías)	10
Medidos a partir del límite superior de la rivera	

Fuente: ANA (diciembre del 2016).

Anexo N° 4: Fotografías del cauce en estudio.



Fotografía 01: Vista panorámica Presa Los Ejidos.



Fotografía 02: Vista panorámica del cauce a la altura de la Urb. Cocos del Chipe.



Fotografía 03: Vista panorámica del Puente Cáceres.



Fotografía 04: Vista panorámica del Rio Piura aguas abajo del puente Bolognesi.



Fotografía 05: Vista panorámica del Puente Miguel Grau.

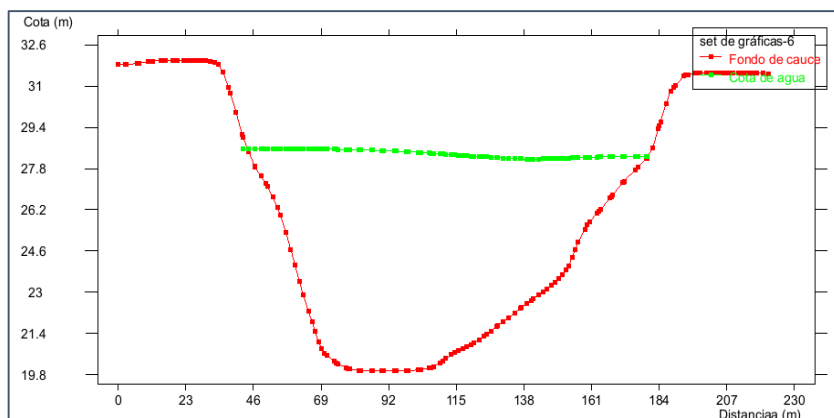


Fotografía 06: Colapso de defensas ribereñas Urb. Cocos del chipe.

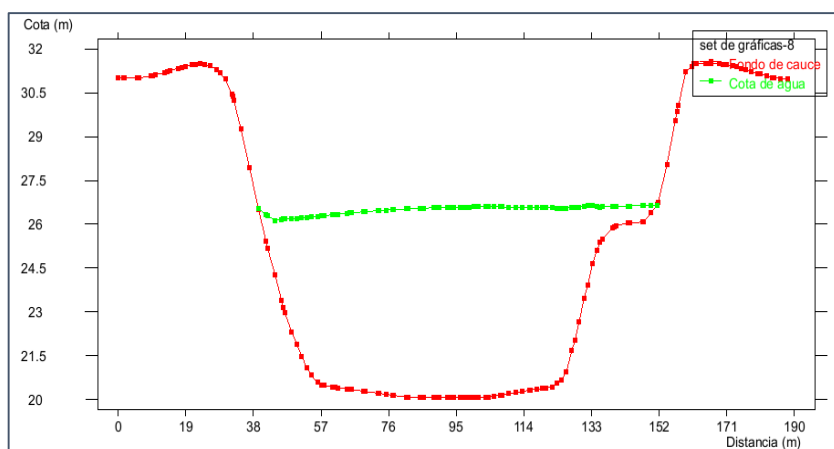
Anexo N° 5: Visualización de resultados del modelamiento hidráulico.



Visualización de resultados del modelamiento hidráulico a la altura de la urbanización Cocos del Chipe

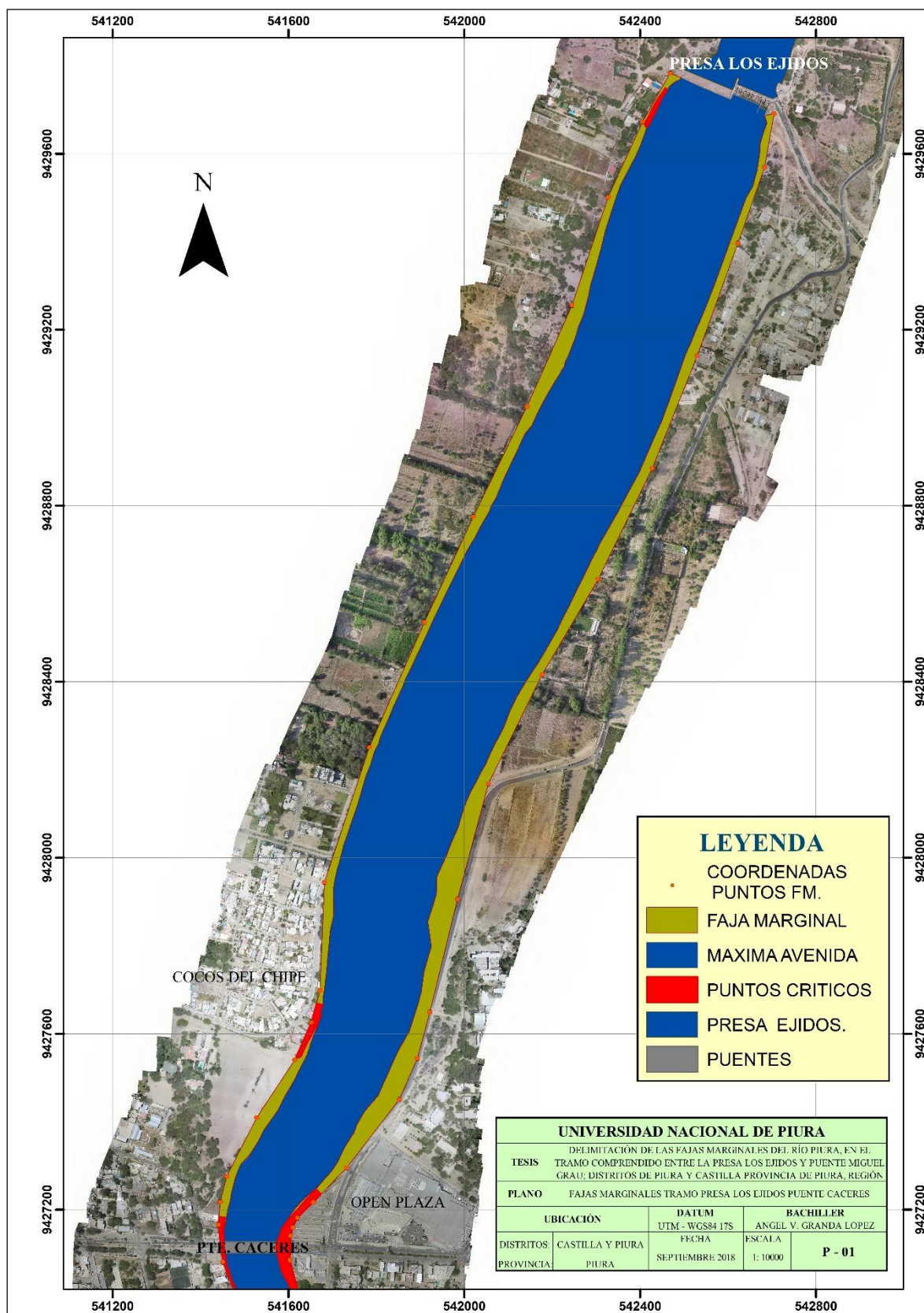


Sección transversal del cauce a la altura del puente Cáceres.

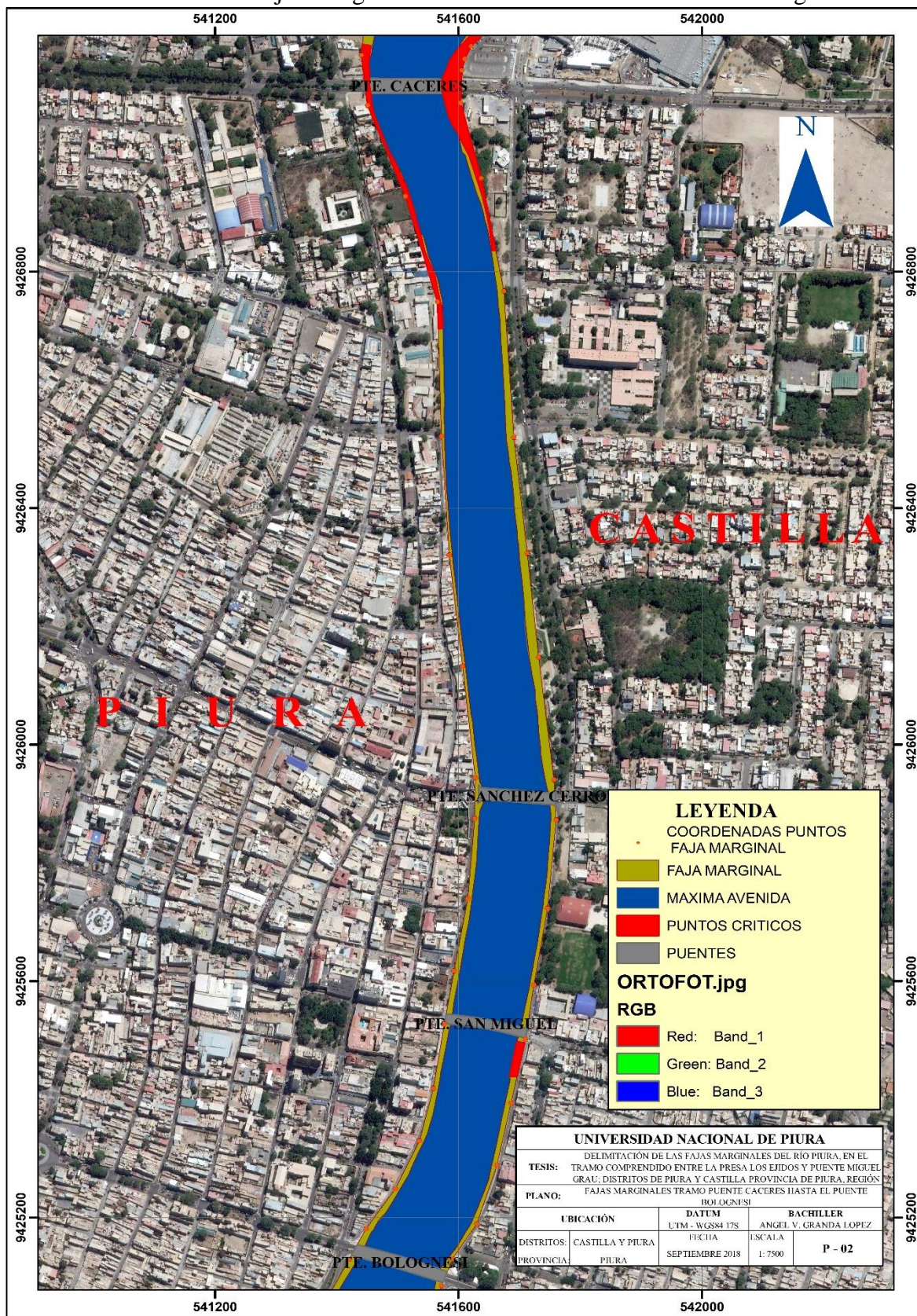


Sección trasversal la altura del puente Sánchez Cerro.

Anexo N° 6: Visualización de Fajas Marginales Delimitadas.
Tramo Presa Los Ejidos Puente Cáceres.



Visualización de Fajas Marginales tramo Puente Cáceres - Puente Bolognesi.



Visualización de Fajas Marginales tramo Puente Bolognesi - Puente Miguel Grau.

